



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Гергана Петкова Матеева

**МОДЕЛИРАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОМУНИКАЦИОННИ
СТРАТЕГИИ В УПРАВЛЕНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ**

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
по докторска програма „Информатика“
професионално направление 4.6. “Информатика и компютърни науки“

Научен ръководител: проф. д-р Татяна Атанасова

София, 2025 г.

Съдържание

Съкращения, използвани в дисертационния труд	5
Речник на ключови термини, използвани в дисертационния труд	7
Увод.....	14
Структура на дисертацията.....	15
Глава 1. Съвременни тенденции в разработване на комуникационни стратегии за управление на информационни процеси	16
1.1. Информационни процеси в дигитална среда.....	16
1.2. Модели на комуникация	17
1.2.1. Линеен модел на комуникация	18
1.2.2. Интерактивен модел на комуникация.....	19
1.2.3. Транзакционен модел на комуникация	20
1.3. Теоретични основи и съвременни комуникационни модели.....	21
1.3.1. Комуникационен модел на Шанън-Уивър.....	21
1.3.2. Комуникационен модел, базиран на агент	23
1.3.3. Йерархични и децентрализирани комуникационни модели	24
1.3.4. Теоретично-игров комуникационен модел.....	26
1.3.5. Моделиране и симулация в комуникацията	26
1.3.6. Управление на качеството на данните в информационни процеси	26
1.4. Комуникационни стратегии в дигитална среда.....	28
1.5. Компоненти на съвременните комуникационни стратегии.....	31
1.5.1. Интегриране на информационните и комуникационните технологии.....	31
1.5.2. Стратегическо планиране и управление на комуникацията	32
1.5.3. Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци	33
1.5.4. Човешкият фактор и културният контекст	33
1.5.5. Мониторинг, оценка и адаптация.....	33
1.6. Роля и въздействие на ИКТ в комуникационните стратегии за управление на информационни процеси	34
1.6.1. Значение на ИКТ за вземане на решения и управление	34
1.6.2. Роля на ИКТ в управлението на знания и иновации.....	35
1.6.3. Интеграция и дигитализация на управленските системи	36
1.6.4. Необходимост от динамично адаптиране на комуникационните стратегии	37
1.7. Предизвикателства при прилагането на комуникационни стратегии за управление на информационните процеси в организационното управление	38
1.7.1. Сложни организационни структури.....	38
1.7.2. Децентрализирано споделяне на данни	38
1.7.3. Ефективна комуникация и контрол на управлението	38
1.7.4. Динамични и развиващи се изисквания.....	39
1.7.5. Технологична интеграция и адаптация	39
1.8. Оптимизация и усъвършенстване на комуникационните стратегии.....	41
1.8.1. Анализ и оценка на комуникационните процеси.....	41
1.8.2. Внедряване на съвременни информационни и комуникационни технологии	42

1.8.3. Съвременни индустриални разработки за комуникация при управление на информационни процеси.....	43
1.8.4. Управление на информационното претоварване	44
1.8.5. Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци	46
1.8.6. Оценка на въздействието и непрекъснато усъвършенстване	46
1.9. Методи за оптимизация на комуникационните стратегии	46
1.9.1. Техники и методи за оптимизация	47
1.9.2. Практически приложения на оптимизирани комуникационни стратегии.....	49
1.10. Съвременни тенденции в развитието на комуникационните стратегии за управление на информационните процеси	50
1.10.1. Комуникация и автоматизация, управлявана от AI	52
1.10.2. Управление на знания и големи данни	52
1.10.3. Управление на риска в цифровата трансформация	53
1.10.4. Интерактивна и динамична комуникация	54
1.10.5. Специфични за сектора на телекомуникациите приложения.....	54
1.10.6. Технологии за базирано в облак и отдалечено сътрудничество.....	55
1.10.7. Интегриране на IoT&EdgeComputing.....	55
1.10.8. Оптимизация на комуникацията, управлявана от данни	56
1.10.9. Блокчейн и киберсигурност в комуникацията.....	56
1.10.10. Адаптивна и съобразена с контекста комуникация.....	57
1.10.11. Човекоцентрични и межкултурни комуникационни стратегии.....	57
1.10.12. Бъдещи тенденции в оптимизацията на комуникационните стратегии	57
1.11. Изводи.....	58
1.12. Цел и задачи на дисертационния труд.....	59
Глава 2. Методи за евристична оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси	60
2.1. Евристични методи за оптимизация на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси.....	60
2.1.1. Хипер-евристика (HyperHeuristics).....	60
2.1.2. Мета-евристични техники (MetaHyper Heuristics)	61
2.2. Генетичните алгоритми: Теоретични основи и модификации	62
2.2.1. Основни принципи на GA.....	62
2.2.2. ДНК-въдъхновена модификация на генетични алгоритми	63
2.2.3. Експерименти и резултати.....	66
2.3. Приложение на GA в управление на информационни потоци при разпределени изчисления.....	67
2.3.1. Управление на информационни потоци в специфичен контекст на разпределени изчисления с GA	67
2.3.2. Прогнозиране на финансови времеви серии чрез GA.....	71
2.3.3. Вътрешни стратегии за управление на информацията в генетични алгоритми в дигитална среда чрез апроксимация на целева функция.....	74
2.3.4. Експерименти и резултати	76
2.4. Изследване на статистически свойства при оптимизация: Качество на данни и мащабиране на случайни числа	79
2.4.1. Генериране и мащабиране на случайни числа	80
2.4.2. Техники за мащабиране на случайни числа	80
2.4.3. Статистически инструменти и експерименти	81

2.4.4. Експерименти и резултати	82
2.5. Изводи.....	89
Глава 3. Модели за комуникационни стратегии при управление на	
информационни процеси в дигитална среда: Технически и архитектурни аспекти	
.....	91
3.1. Моделиране на комуникационни стратегии в дигитална среда	91
3.2. Използване на Android Content Providers за ефективно управление на данни в мобилни разпределени среди.....	93
3.3. Моделите за комуникационни стратегии при управление на информационни потоци в дигитална среда в контекста на разпределени изчисления и генетични алгоритми.....	96
3.4. Анализи и решения в технически и архитектурен аспект	96
3.5. Основни средства за реализация на разпределени изчисления	100
3.6. Основни предизвикателства при проектирането на системи за взаимодействие	101
3.6.1. Оперативна съвместимост.....	101
3.6.2. Ресурсни ограничения	102
3.7. SWOT анализ	103
3.8. Архитектурни модели при проектирането на разпределени системи	107
3.8.1. Клиент-сървър архитектура	107
3.8.2. Peer-to-Peer (P2P) архитектура.....	107
3.8.3. Събитийно-ориентирана (Event-Based/Publish-Subscribe) архитектура	107
3.8.4. Многослойна (Layered) архитектура	108
3.9. Специфични техники за оптимизация на комуникацията	110
3.9.1. Адаптивни Комуникационни модели.....	110
3.9.2. Енергийно-Ефективно Маршрутизиране и Агрегиране на Данни.....	111
3.9.3. Нововъзникващи нискоенергийни технологии	111
3.10. Архитектурно проектиране на Евристична оптимизация в разпределени системи	111
3.10.1. Архитектурни парадигми за разпределени Генетични алгоритми	112
3.10.2. Комуникационни протоколи за еволюционна информация.....	112
3.10.3. Интегриране на специфичните модификации на GA	112
3.11. Перспективна архитектурна визия.....	113
3.11.1. Интеграция с Федеративно обучение (Federated Learning).....	113
3.11.2. Мултиагентни системи (MAC) за Децентрализирани преговори	114
3.11.3. Влияние на 5G/6G и Технологии от следващо поколение	114
3.12. Изводи.....	115
Заклучение - Резюме на получените резултати.....	117
Насоки за бъдещи изследвания	119
Забелязани цитирания.....	121
Декларация за оригиналност на резултатите.....	125
Библиография.....	126

Съкращения, използвани в дисертационния труд

ACO (Antcolony optimization) - Оптимизация на колонията на мравки

AI (Artificial intelligence) - Изкуствен интелект

API (Application Program Interface) - Интерфейс на приложната програма

AR (Augmented Reality) - Добавена реалност

ARML (Augmented Reality Markup Language) - Език за маркиране на разширена реалност

AV (Augmented Virtuality) – Добавена виртуалност

DSS (Decision support systems) - Системи за подпомагане на вземането на решения

CAM (Content Aggregation Model) - Модел на агрегиране на съдържание

CCLC (Combined Conceptual Life Cycle) model - Модел на комбинирания концептуален жизнен цикъл

COBIT (Control Objectives for Information and Related Technologies) - Контролни цели за информация и свързани с тях технологии.

GA (Genetic algorithms) - Генетични алгоритми

EDI (Employee-Driven Innovation) - Иновации, управлявани от служители

ERP (Enterprise Resource Planning) - Интегрирана софтуерна система, която управлява и автоматизира основните бизнес процеси

IoT (Internet of Things) - Интернет на нещата

IP (Information Product) - Информационни продукти

IPM (Information Process Management) - Управление на информационни процеси

ITIL (IT Infrastructure Library) - Библиотека за инфраструктурата на информационните технологии

KPI (Key Performance Indicator) - Ключов показател за изпълнение.

MAS (Multi-Agent System) - Мултиагентна система

ML (Machine learning) - Машинно обучение

MR (Mixed reality) - Смесената реалност е смесица от физически и цифрови светове

NLP (Natural Language Processing) - Обработка на естествен език

OTS (Operator Training Systems) - Системи за обучение на оператори

UCaaS (Unified Communications as a Service) - Обединени комуникации като услуга

PSO (Particle swarm optimization) - Оптимизация на рояка частици

RE (Real Environment) - Реална среда

RTP (Return to Player) - Процент, който показва колко от заложените пари в хазартна игра се очаква да бъдат върнати на играчите в дългосрочен план.

RTE (Run-Time Environment) - Среда за изпълнение

SaaS (Software as a Service) - Софтуер като услуга

SCO (Sharable Content Object) - Съдържание, достъпно за споделяне между потребителите

VR (Virtual reality) - Виртуална реалност

QKD (Quantum Key Distribution) - Квантово разпределение на ключове

WSN (Wireless Sensor Networks) - Безжични сензорни мрежи

XML (Extensible Markup Language) - Разширяем език за маркиране

XR (Extended Reality) - Разширена реалност

ИКТ - Информационни и комуникационни технологии

Речник на ключови термини, използвани в дисертационния труд

- **Разпределено изчисление:** Модел на изчисление, при който задачите се разделят и изпълняват на множество независими компютърни устройства, които комуникират помежду си чрез мрежа.
- **Доброволно изчисление:** Форма на разпределено изчисление, при която изчислителната мощност се предоставя доброволно от голям брой индивидуални компютри или мобилни устройства.
- **Android Content Provider:** Компонент на Android, който управлява структуриран набор от данни и осигурява унифициран интерфейс за достъп до тези данни от различни приложения.
- **Модулност:** Архитектурно свойство на софтуерните системи, което позволява те да бъдат разделени на независими и взаимозаменяеми компоненти (модули).
- **Еволюционни алгоритми:** Клас оптимизационни алгоритми, вдъхновени от биологичната еволюция, които използват механизми като селекция, кръстосване и мутация за намиране на оптимални решения.
- **Изкуствени невронни мрежи (ИНМ):** Изчислителни модели, вдъхновени от структурата и функциите на биологичните невронни мрежи, използвани за машинно обучение и разпознаване на образи.
- **Дигитални комуникационни инструменти:** Онлайн платформи и технологии, използвани за разпространение на информация и взаимодействие с аудиторията, като социални медии, уебсайтове, блогове, видео и аудио съдържание.
- **Екологични НПО (ЕНПО):** Неправителствени организации, които работят за опазване на околната среда и насърчаване на устойчиво развитие.
- **Адаптивно управление:** Гъвкав подход към управлението на природни ресурси и екосистеми, който включва мониторинг, оценка и коригиране на стратегиите въз основа на получените резултати.
- **Ангажиране на заинтересовани страни:** Процес на включване и взаимодействие с различни групи и индивиди, които имат интерес или влияние върху дадена дейност или проблем.
- **Информационни процеси:** Включват обработка, придобиване, записване, организиране, извличане, показване и разпространение на данни, като крайната цел е събиране и анализ на информация.

- **Дигитална среда:** Обхваща различни цифрови устройства, платформи, медии, данни и технологии, които съвместно подпомагат постигането на дигиталните цели на потребителите.
- **Комуникация:** Разбира се като обмен и споделяне между хората, акцентирайки върху създаването на общност, свързването и взаимодействието помежду им.
- **Линеен модел на комуникация:** Представа комуникацията като еднопосочен процес от подател към получател, развит от Аристотел и по-късно от Шенън и Уивър.
- **Интерактивен модел на комуникация:** Разглежда комуникацията като двупосочен процес, включващ обратна връзка, където участниците редуват ролите си на подател и получател.
- **Транзакционен модел на комуникация:** Описва комуникацията като постоянен процес, в който участниците едновременно изпращат и получават съобщения, съвместно създавайки социална реалност в определен контекст.
- **Комуникационен модел на Шанън-Уивър:** Линеен и еднопосочен модел за предаване на съобщения, включващ източник, предавател, канал, шум, приемник и получател, използван за оптимизация на потока на данни.
- **Комуникационен модел, базиран на агент:** Използва автономни софтуерни агенти, управлявани от изкуствен интелект, които взаимодействат и оптимизират обмена на данни в мултиагентни системи.
- **Йерархични комуникационни модели:** Характеризират се със структурирана комуникация отгоре надолу, често използвани в корпоративни среди.
- **Децентрализирани комуникационни модели:** Осигуряват сигурна и разпределена комуникация, като например peer-to-peer или базирани на блокчейн системи.
- **Хибридни комуникационни структури:** Съчетават предимствата на йерархичните и децентрализираните подходи за оптимизация на работния процес.
- **Теоретично-игров комуникационен модел:** Оптимизира стратегическите взаимодействия между агенти в конкурентни или кооперативни настройки, намирайки приложение в киберсигурността и бизнес преговорите.
- **Моделиране и симулация в комуникацията:** Интегрират комуникацията между проектиране, производство, маркетинг и управление за оптимизация на цялата верига за разработване на продукти и процеси.

- **Управление на качеството на данните:** Включва дефиниране на стандарти, контрол и непрекъснато подобрене на информационните потоци за осигуряване на точност, пълнота, навременност и релевантност на информацията.
- **Комуникационни стратегии:** Систематични подходи за постигане на цели чрез използване на онлайн платформи и инструменти, включващи планиране, изработване и разпространение на съобщения.
- **Стратегическа комуникация:** Представява преднамерен и систематичен подход за предаване на съобщения, които са в съответствие с ценностите и целите на организацията.
- **Управление на информацията:** Концептуално се разделя на фази: събиране, съхранение, анализ и предаване на информация.
- **Киберсигурност:** Повишена заплаха от кибератаки и пробиви на данни, за справяне с която е необходимо обучение и прилагане на методи за защита.
- **Оптимизация на комуникационните стратегии:** Систематични подходи за анализ, подобрене и адаптация на комуникационните процеси в динамична дигитална среда.
- **Анализ и оценка на комуникационните процеси:** Детайлен анализ на съществуващите комуникационни процеси за идентифициране на силните и слабите страни и тяхното усъвършенстване.
- **Внедряване на съвременни информационни и комуникационни технологии:** Интеграция на иновативни ИКТ, включително цифрови устройства, софтуерни решения и мрежи, за автоматизация на процесите и ефективен обмен на информация.
- **Управление на информационното претоварване:** Стратегии за предотвратяване на претоварване с информация, за да се осигури ефективно използване на информацията и подобряване качеството на вземаните решения.
- **Евристични методи за оптимизация:** Методи, предназначени да подобрят ефикасността и ефективността на комуникацията в сложни системи, включващи хипер-евристики и мета-евристични техники.
- **Хипер-евристика (HyperHeuristics):** Стратегия на високо ниво, която избира, комбинира или генерира евристика за решаване на проблеми.

- **Мета-евристични техники (Meta-Heuristic Techniques - МНТ):** Използват се за ефективно управление на информацията в логистиката и дистрибуцията, фокусирани върху сътрудничество, комуникация и обмен на знания.
- **Алгоритъм за преход на състояние с множество стратегии, управляван от комуникация (CDMS-STA):** Нов интелигентен алгоритъм за стохастична оптимизация, подобряващ разнообразието от кандидат-решения чрез комуникация, самообучение и трансгранична обработка на решения.
- **Генетични алгоритми (GA):** Стохастични оптимизационни методи, вдъхновени от естествения подбор, използващи селекция, мутация и кръстосване за намиране на оптимални решения.
- **Оптимизация на рояка частици (PSO):** Алгоритъм, базиран на колективното поведение на рояци, прилаган в самоорганизиращи се комуникационни мрежи и IoT системи за интелигентно управление.
- **Оптимизация на колонията на мравки (ACO):** Алгоритми, имитиращи поведението на мравките при търсене на храна, използвани за динамично маршрутизиране на съобщения.
- **Машинно обучение (ML):** Предлага възможности за предсказване на тесни места в комуникационните процеси и автоматизиране на отговорите, интегрирани в AI-базирани системи.
- **Обучение с подсилване (Reinforcement Learning):** Позволява на AI моделите да се учат от обратна връзка в реално време за динамична оптимизация на комуникационни и работни процеси.
- **Целева функция (Fitness function):** Математически израз, който присвоява числова оценка на всяко възможно решение, генерирано от генетичен алгоритъм, измервайки качеството на решението спрямо целите за оптимизация.
- **Киберфизически системи (CPS):** Основа на интензивна информационна и дигитална трансформация, комбиниращи динамиката на физическите процеси със софтуер и мрежи за интегрирано моделиране, проектиране и анализ.
- **Оперативна съвместимост:** Критично предизвикателство при изграждането и управлението на разпределени и съвместни системи, гарантиращо безпроблемната работа на различни системи и компоненти заедно.
- **Ресурсни ограничения:** Предизвикателства при проектирането на системи, свързани с ограничена памет, липса на дисплей, слаби процесори и други

фактори, налагащи иновативни стратегии за оптимизация на използването на ресурсите.

- **SWOT анализ:** Метод за идентифициране на силните и слабите страни, възможностите и заплахите, свързани с дадени технологии и подходи, използван за оценка на CPS и IoT.
- **Big Data:** Възходът им, съчетан с по-бързи изчислителни системи, трансформира анализа на данни и налага нови подходи за извличане на информация и вземане на решения.
- **Квантови изчисления:** Развитие, което ще ускори техниките за търсене и ще изисква нови начини за показване и анализ на информация.
- **Квантова комуникация:** Предлага изключително сигурно предаване на данни чрез квантово криптиране и разпределение на ключове, осигурявайки неприкосновеност и защита.
- **Digital Twin:** Технология, създаваща виртуални модели на реални процеси за симулиране и оптимизиране на комуникационни стратегии и работни процеси.
- **Емоционален изкуствен интелект (AI):** Анализира тона и настроението в съобщенията, за да подобри качеството на човешките взаимодействия и да осигури по-адекватна комуникация.
- **Холографски интерфейси:** Очертават се като бъдещето на човеко-машинния интерфейс, предоставяйки нови възможности за визуализация и обмен на информация.
- **HTTP/JSON протокол:** Често използван протокол за комуникация между сървър и мобилни устройства в клиент-сървър архитектури.
- **RESTful комуникация:** Тип комуникация, основана на HTTP/JSON протокола, използвана в системи за мобилни разпределени изчисления.
- **Клиент-сървър архитектура:** Фундаментален архитектурен модел, при който сървърът предоставя информация или услуги на клиенти (мобилни устройства).
- **Android Services:** API-та на Android OS, използвани за извършване на дълготрайни операции във фонов режим без потребителски интерфейс.
- **LiveWallpaper:** API на Android OS, предоставящи интерактивни фонове с възможност за междинна визуализация на резултати от разпределени изчисления.
- **Android Widgets:** Компоненти на графичния потребителски интерфейс за гъвкава визуализация на резултати и събиране на потребителски вход.

- **SQLite релационна база данни:** Използва се за локално съхранение на данни, осигурявайки работа при липса на интернет връзка.
- **EncogMachine Learning Framework, MOEA Framework, JSON-java, HttpClientAndroidLibrary:** Външни Java-базирани библиотеки, използвани за машинно обучение, метаевристична глобална оптимизация, обработка на JSON съобщения и HTTP комуникация.
- **Модулен дизайн:** Принцип на проектиране, позволяващ прекомпилиране на клиентския код и изпълнение на изчисления на различни платформи.
- **AWS облак архитектура:** Използвана облачна платформа, позволяваща автоматизирано мащабиране и анализ на данни за CPS/IoT инфраструктури.
- **IoT мрежи:** Самооптимизиращи се мрежи от интелигентни устройства, които се адаптират в реално време според трафика.
- **Edge Computing:** Обработка на данни, извършвана по-близо до източника, за намаляване на комуникационната латентност в чувствителни към времето приложения.
- **Блокчейн комуникация:** Осигурява прозрачност и доверие чрез проследимост и неизменност на данните в децентрализирани мрежи.
- **5G и следващи поколения мобилни мрежи:** Предоставят високоскоростна, нисколатентна свързаност, ключова за интегрирано управление на мултимедийни потоци в реално време.
- **Унифицирана комуникация като услуга (UCaaS):** Платформи, които обединяват различни комуникационни канали (съобщения, видеоконференции, споделяне на файлове) в една интегрирана система.
- **Предсказателен анализ:** Базиран на AI, прогнозира необходимостта от информация, осигурявайки проактивна комуникация.
- **Управление на знания:** Ефективното управление на знанието и използването на Big Data е критично за управление на информационните потоци и вземане на информирани решения.
- **Управление на риска:** Механизми за справяне с несигурността и използване на нови бизнес възможности при цифровата трансформация.
- **Автоматизация:** Управлявана от AI, оптимизира работния процес чрез регулиране на информационния поток в реално време.
- **Обработка на естествен език (NLP):** Използвана от AI чатботове и виртуални асистенти за подобряване на комуникацията в реално време.

- **Ключови показатели за ефективност (KPI):** Използват се за непрекъснат мониторинг на ефективността, като степен на ангажираност, обхват и честота на взаимодействие.
- **Средна абсолютна грешка (MAE) и Средноквадратична грешка (RMSE):** Стандартни метрики, използвани за количествена оценка на ефективността и предиктивната производителност на алгоритмите за оптимизация.
- **Геймификация:** Стратегии и интерактивни игрови подходи, които повишават ефективността на комуникацията, особено при екипно сътрудничество и обучение.
- **Дигитална грамотност:** Включва технически, когнитивни и социо-емоционални умения, необходими за ефективно използване на дигитални среди.
- **Имерсивни среди:** Могат да бъдат използвани за обучение на колаборативни умения и изискват групова активност.
- **Неимерсивни среди:** Предоставят споделени работни пространства и канали за синхронна и асинхронна дискусия.
- **Корпоративна комуникация и сътрудничество:** Включва използването на виртуални AI асистенти и автоматизирано управление на работни процеси за намаляване на човешката намеса.
- **Облачни и разпределени изчисления:** Техники за балансиране на натоварването и периферни изчисления, които оптимизират комуникацията между сървърите и намаляват забавянията.
- **Самооптимизирани се IoT мрежи:** Адаптират се в реално време според трафика.
- **Подсилена с AI предсказуема поддръжка:** Анализира данни за оборудването, подобрявайки надеждността и намалявайки прекъсванията.
- **Цифрова трансформация:** Въвежда нови рискове, които трябва да бъдат управлявани чрез ефективни комуникационни стратегии.
- **Стратегическо привеждане в съответствие (на ИКТ):** Предизвикателство в управлението на ИКТ, свързано с рационализиране на операциите и подобряване на процесите на вземане на решения чрез съгласуване на ИКТ със стратегиите на организацията.
- **Комуникация за риска:** Ефективното съобщаване на информация за риска в рамките на регулаторна рамка, което е критично, но предизвикателство.

Увод

Напредъкът на информационните и комуникационни технологии позволява използването на по-сложни стратегии за предоставяне на информация и управление на информационни процеси. Информационната среда е естествено развитие на електронните, информационните и комуникационните технологии. В съвременния свят електронните устройства подобряват комуникацията между хората. Информационният пейзаж предлага почти неограничен достъп до знания и ресурси.

С нарастването на използването на технологиите промените в поведението на хората стават очевидни. Бизнесът все повече се приспособява към нововъзникващите технологии и онлайн платформи. Информационната среда оформя техните бизнес стратегии, маркетингови подходи и практики за обслужване на клиенти. Елементи като електронна търговия, дигитален маркетинг и анализ на данни сега са ключови за успеха на съвременните предприятия.

Актуалността на изследването се предопределя от значението на комуникацията като необходима компетентност за управление на информационните процеси.

Настоящият дисертационен труд анализира съществуващи и предлага модели за използване на информационни и комуникационни технологии (ИКТ) за предоставяне на информация и управление на информационни процеси и комбинирането на тези ИКТ технологии с други техники и методи за евристична оптимизация и управлявани от изкуствен интелект подходи за оптимизиране на стратегии в управление на информационни процеси.

Настоящият дисертационен труд представя нова хибридна рамка за оптимизация на комуникационни стратегии в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси. Основният принос е в разработването и валидирането на синергична комбинация от разработените евристични методи, по-конкретно ДНК-вдъхновена модификация на генетичните алгоритми и адаптивна апроксимация на целевите функции, с гъвкав архитектурен модел, който позволява тяхното ефективно прилагане на хетерогенни мобилни и IoT устройства.

Структура на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в **три** глави.

В **първа глава** е направен аналитичен обзор на съвременни тенденции в разработване на комуникационни стратегии и технологии за управление на информационни процеси.

Във **втора глава** са представени разработените евристични методи, по-конкретно ДНК-вдъхновена модификация на генетичните алгоритми и адаптивна апроксимация на целевите функции за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси.

В **трета глава** са описани модели, които позволяват ефективно прилагане на разработените евристични методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства с разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, включително техните технически и архитектурни аспекти на управлението на информационни потоци.

В **Заклучението** е представено резюме на получените резултати. Определени са насоки за бъдещи изследвания и развитие. Представен е списък с научни публикации по темата и забелязани цитирания.

Дисертационният труд съдържа 135 страници, 48 фигури, 9 таблици и 137 литературни източника.

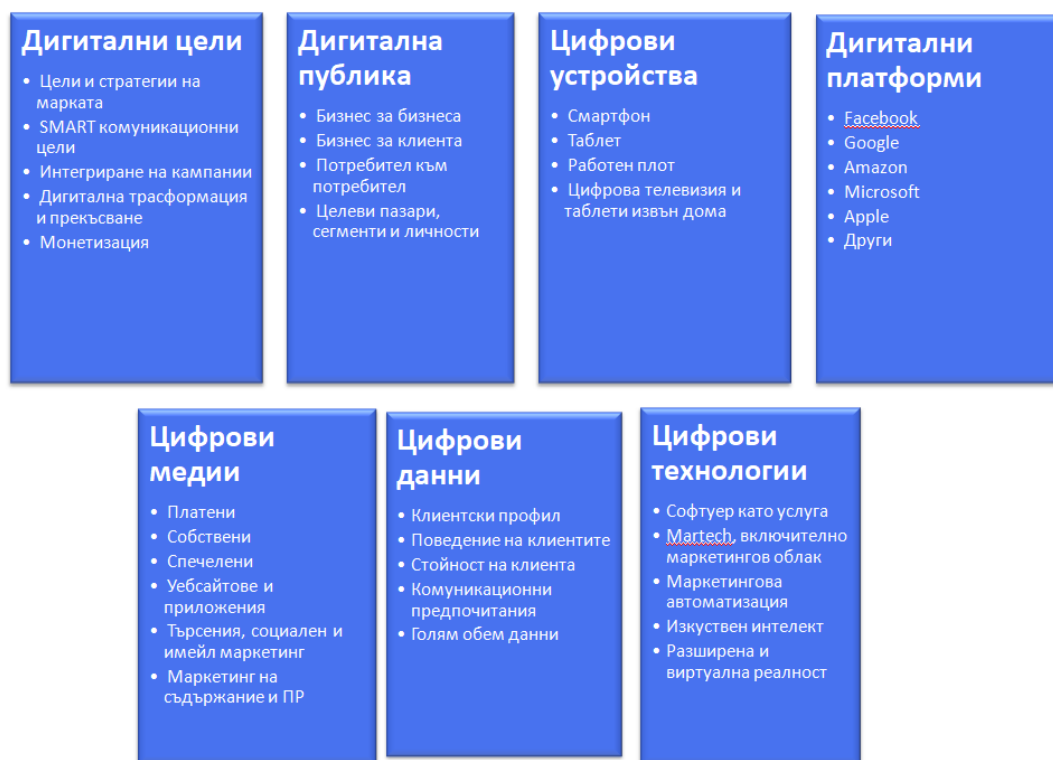
Глава 1. Съвременни тенденции в разработване на комуникационни стратегии за управление на информационни процеси

1.1. Информационни процеси в дигитална среда

През последните десетилетия технологиите претърпяха значителен напредък, който доведе до навлизането в съвременната информационна ера. В този контекст ИКТ заемат централно място, като се разглеждат като трансформиращи фактори в различни индустрии. Създаването, използването, разпространението и обработването на данни са от ключово значение за ефективното функциониране на съвременните организации.

Според енциклопедия „Британика“ информационният процес включва обработка на информация, придобиване, записване, организиране, извличане, показване и разпространение на данни. Крайната цел на този процес е събирането и анализът на информацията. Обработката на информация се определя като процес на събиране и трансформиране на данни в смислена информация, както и нейното предаване и съхраняване [Galbraith, 1977].

Информационната среда заема жизненоважна позиция в съвременното общество, оказвайки влияние върху почти всеки аспект от живота ни. Дигиталното обкръжение, представено на Фигура 1.1, включва различни цифрови устройства, платформи, медии, данни и технологии, които съвместно подпомагат постигането на дигиталните цели на различни потребители.



Фигура 1.1. Дигитална среда (Адаптирано от:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1029313222000719>)

Развитието на информационните процеси в дигиталната среда изисква задълбочено разбиране на комуникацията като ключов механизъм за управление и обмен на информация.

1.2. Модели на комуникация

Терминът „комуникация“ произлиза от латинския език, където *communicatio* означава „споделяне“, „съобщаване“, „разделяне“ или „предаване“. В латинския език съществува и устойчивото словосъчетание *communicationsermons*, което се превежда като „разговор“. В съвременния контекст комуникацията се разбира като обмен и споделяне между хората, като акцентът е върху създаването на общност, свързването и взаимодействието помежду им. По този начин терминът може да се преведе както като „общуване“, така и като „съобщение“.

Ефективната комуникация изисква посланията да бъдат ясни, кратки, конкретни, достоверни и съобразени с контекста и аудиторията. Това означава, че

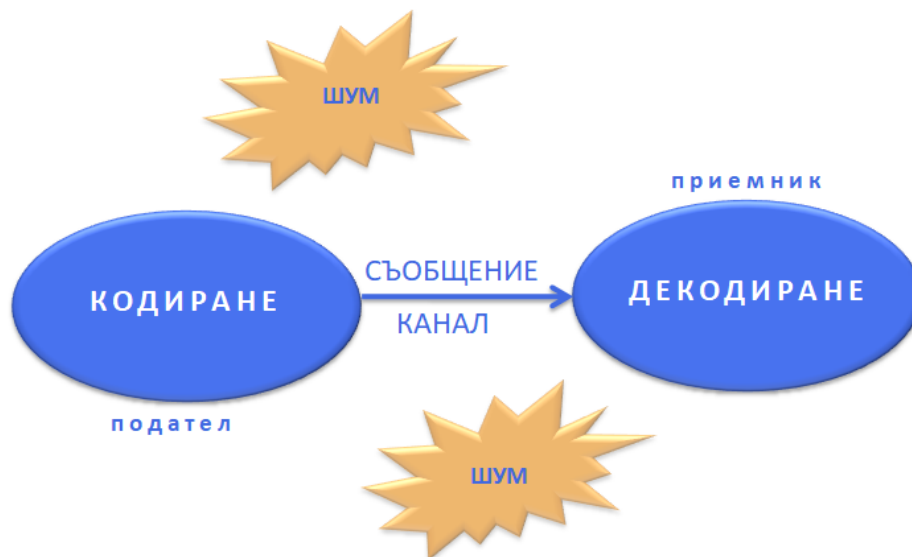
съобщенията трябва да се изразяват разбираемо, без излишни подробности, с точна и проверена информация, използвайки подходящ тон и стил спрямо конкретната ситуация.

1.2.1. Линеен модел на комуникация

Линейният модел на комуникация, илюстриран на Фигура 1.2, представя комуникацията като едностранен процес, при който подателят изпраща съобщение към получателя. Този модел, включващ говорител, съобщение и слушател, е предложен още от Аристотел и е основа за развитието на съвременните комуникационни теории.

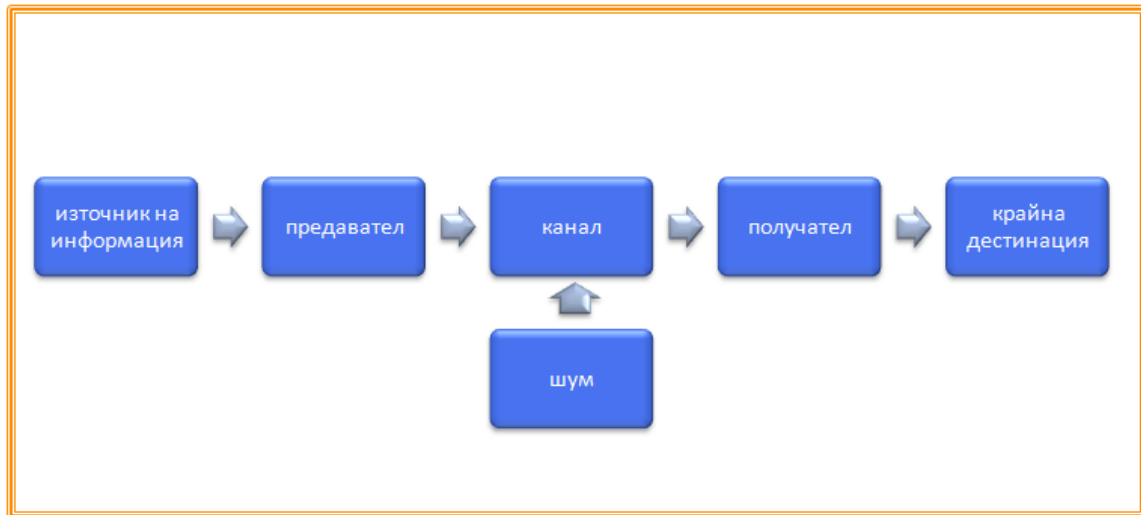
С развитието на новите технологии, Шенън и Уивър доразвиват модела през 1949 г., като въвеждат елементи като източник на информация, предавател, канал, шум, получател и крайна дестинация (Фигура 1.3).

Подателят изпраща съобщението по определен канал, който може да бъде повлиян от шум – всякакви смущения, затрудняващи правилното приемане на информацията.



Фигура 1.2. Линеен модел на комуникация (Адаптирано

om: <https://pressbooks.bccampus.ca/professionalcomms/chapter/3-2-the-communication-process-communication-in-the-real-world-an-introduction-to-communication-studies/>

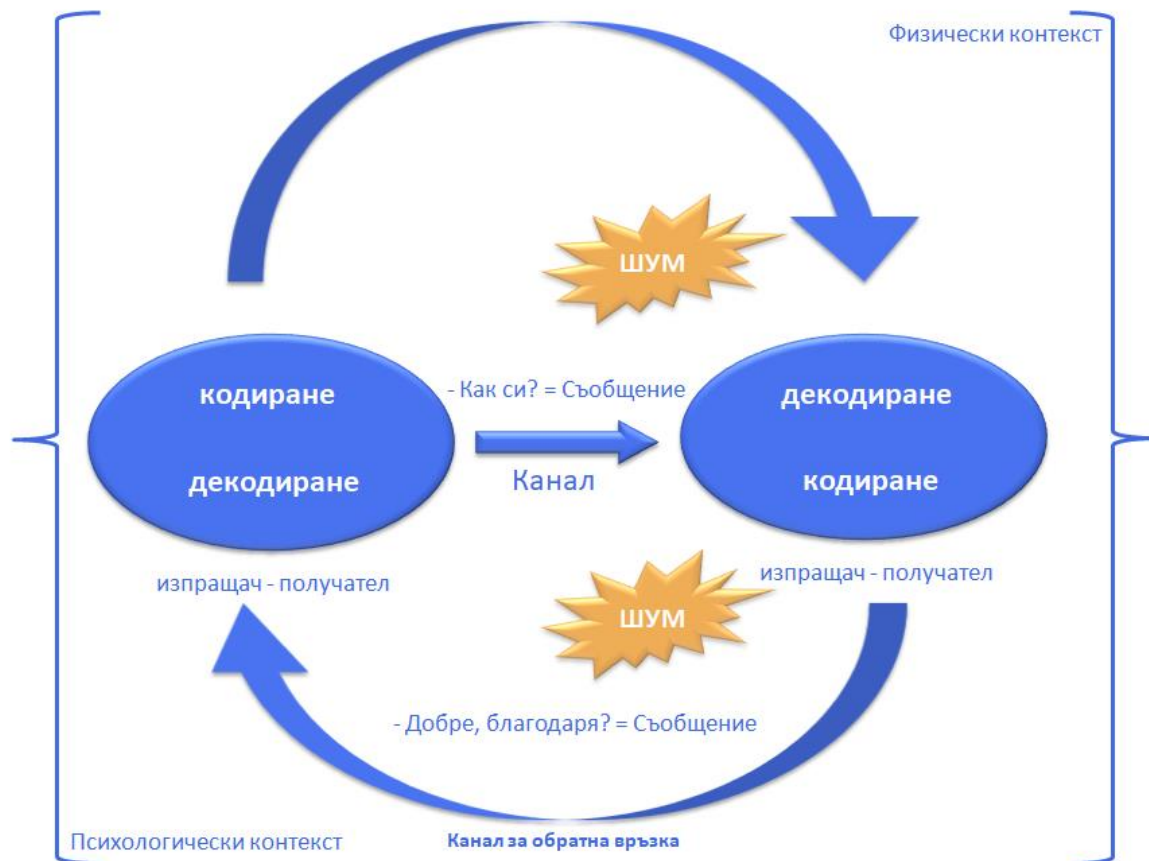


Фигура 1.3. Модел за линейна комуникация на Шенън и Уивър (Адаптирано от: [https://www.novavizia.com/model-za-linejna-komunikatsiya-na-shenyn-i-uivyr/.](https://www.novavizia.com/model-za-linejna-komunikatsiya-na-shenyn-i-uivyr/))

1.2.2. Интерактивен модел на комуникация

Интерактивният модел, представен на Фигура 1.4, разглежда комуникацията като процес, в който участниците редуват ролите си на подател и получател. Този модел въвежда обратната връзка като ключов елемент, превръщайки комуникацията в двупосочен процес. Участниците обменят съобщения и получават обратна връзка в контекста на физическа и психологическа среда [A. C. Elkins et al, 2012].

Този подход позволява по-комплексно разбиране на ролите на участниците и динамиката на общуването. При изпращане на твърде много съобщения едновременно съществува риск част от тях да не бъдат получени, а някои съобщения могат да бъдат изпратени неволно. В този модел не се оценява само дали съобщението е успешно предадено, а се акцентира върху непрекъснатия процес и важността на обратната връзка.



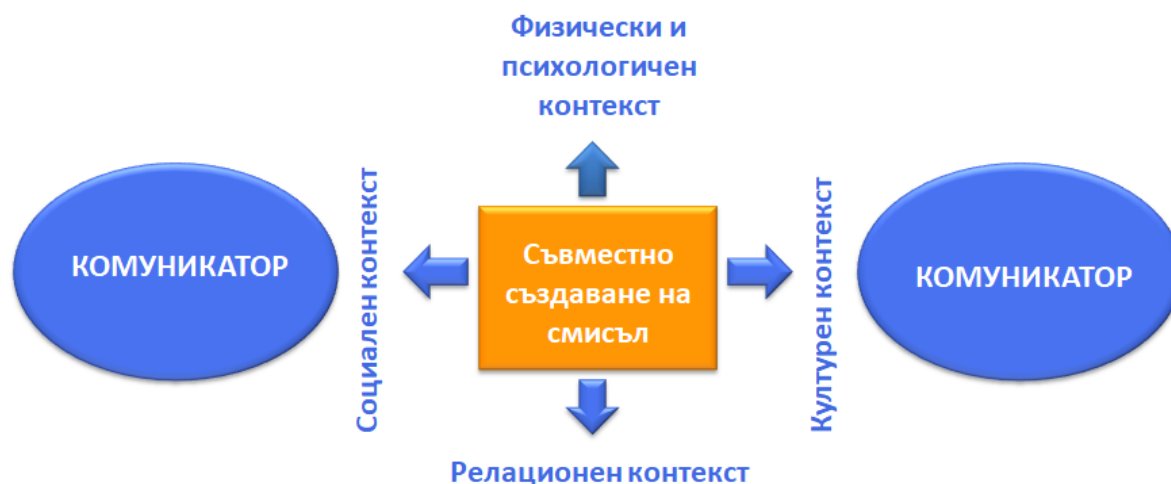
Фигура 1.4. Интерактивен модел на комуникация

1.2.3. Транзакционен модел на комуникация

С развитието на комуникационната теория моделите стават все по-изчерпателни и обхващат по-голяма част от сложността на комуникационния процес.

Транзакционният модел, илюстриран на Фигура 1.5, разглежда комуникацията като процес, в който участниците заедно създават социална реалност в определен социален, релационен и културен контекст. За разлика от компютрите, хората не изпращат съобщения по строго определен ред и не се редуват последователно като подател и получател. Комуникацията е постоянен процес, който включва много повече от просто предаване и получаване на информация.

В този модел участниците не се разграничават като податели и получатели, а като комуникатори, които едновременно изпращат и получават съобщения. Тази динамика обяснява как вербалните послания могат да се променят в движение в зависимост от реакциите на събеседника.



Фигура 1.5. Транзакционен модел на комуникация

Теоретичните основи и съвременните комуникационни модели включват както класическите, така и новите подходи, базирани на интелигентни агенти и сложни организационни структури.

1.3. Теоретични основи и съвременни комуникационни модели

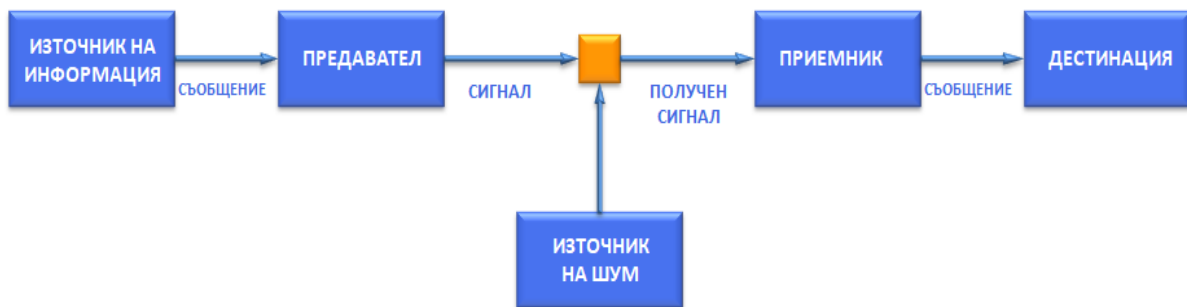
1.3.1. Комуникационен модел на Шанън-Уивър

Моделът на Шанън-Уивър, разработен през 1946 г., представлява линеен и еднопосочен процес на предаване на съобщения от източник към приемник чрез комуникационен канал. Той включва шест основни елемента: източник на информация, предавател, канал, шум, приемник и получател (Фигури 1.6 и 1.7). Шумът представлява всякакви смущения, които могат да нарушат качеството на предаването, като технически или семантични пречки.

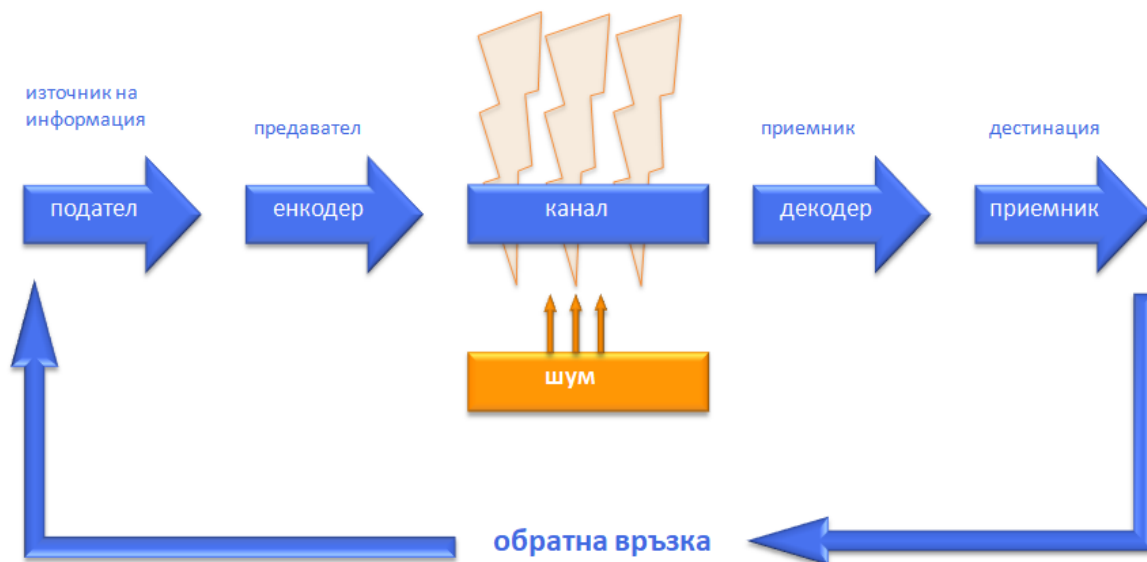
Първоначално моделът не включва обратна връзка, но по-късни разработки я въвеждат като важен механизъм за оптимизация и корекция на комуникацията. Този модел е широко приложим в технически и мрежови комуникационни системи, като например системи за маршрутизиране на съобщения, управлявани от изкуствен

интелект. Той помага за оптимизиране на потока на данни, отчитайки влиянието на шума и необходимостта от обратна връзка.

Основната стойност на модела е в систематизирането на комуникацията като процес на предаване на сигнали и подчертаването на ролята на техническите фактори, което го прави фундаментален за развитието на теорията на информацията и съвременните комуникационни технологии.



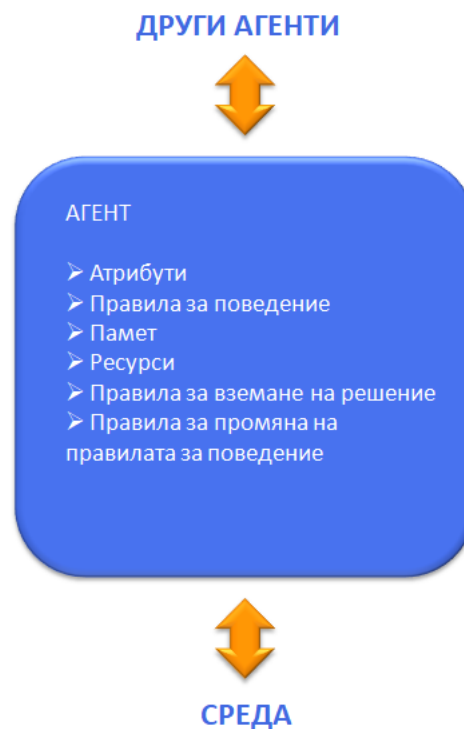
Фигура 1.6. Основни елементи на модела на Шанън-Уивър)



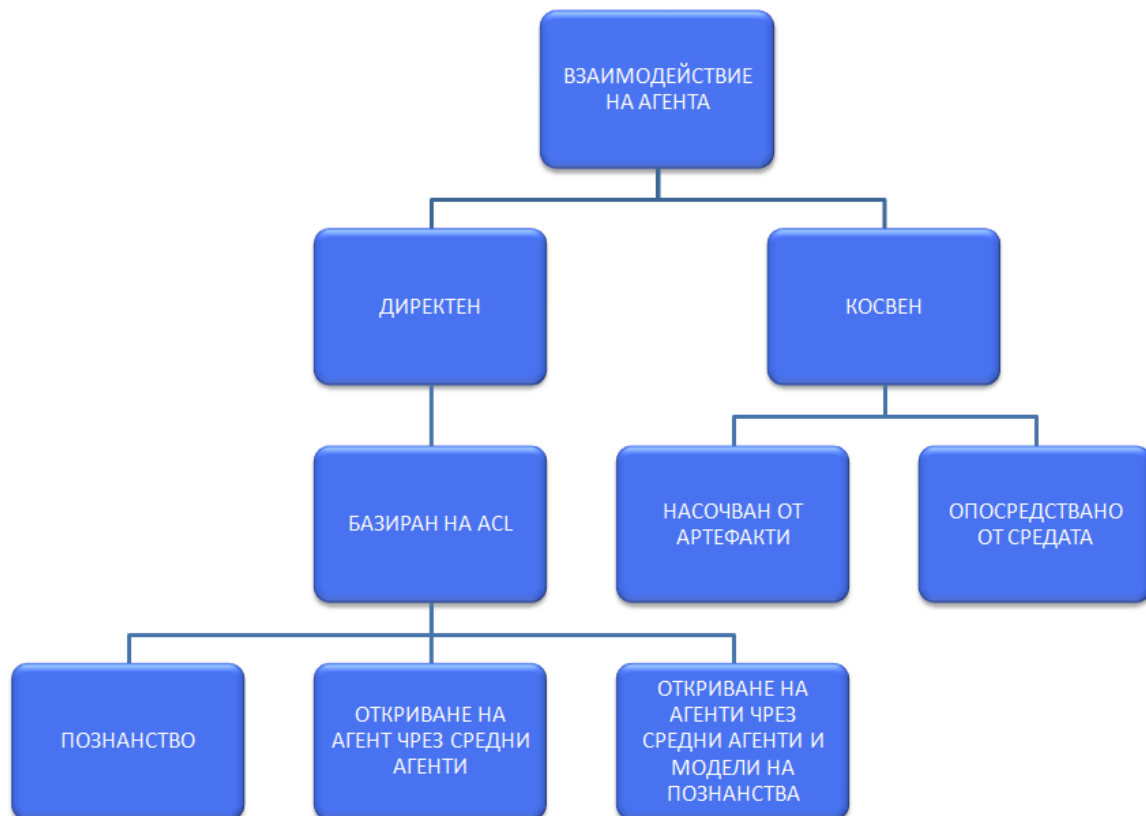
Фигура 1.7. Влияние на шума в комуникационния процес

1.3.2. Комуникационен модел, базиран на агент

Съвременните комуникационни модели използват автономни софтуерни агенти, управлявани от изкуствен интелект, които взаимодействат, обработват и оптимизират обмена на данни. Тези модели намират приложение в мултиагентни системи (MAS), подпомагащи автоматизираното вземане на решения и планиране на ресурсите на предприятието (ERP). Автономните агенти притежават специфични характеристики, които им позволяват да действат независимо и да комуникират помежду си. Взаимодействията между тях са класифицирани в различни таксономии (Фигури 1.8 и 1.9).



Фигура 1.8. Типични характеристики на автономен агент (Адаптирано от: Мартин Иванов, Съвременно приложение на многоагентните симулационни модели в изследванията и в практиката, Нов български университет, Департамент „Информатика“)



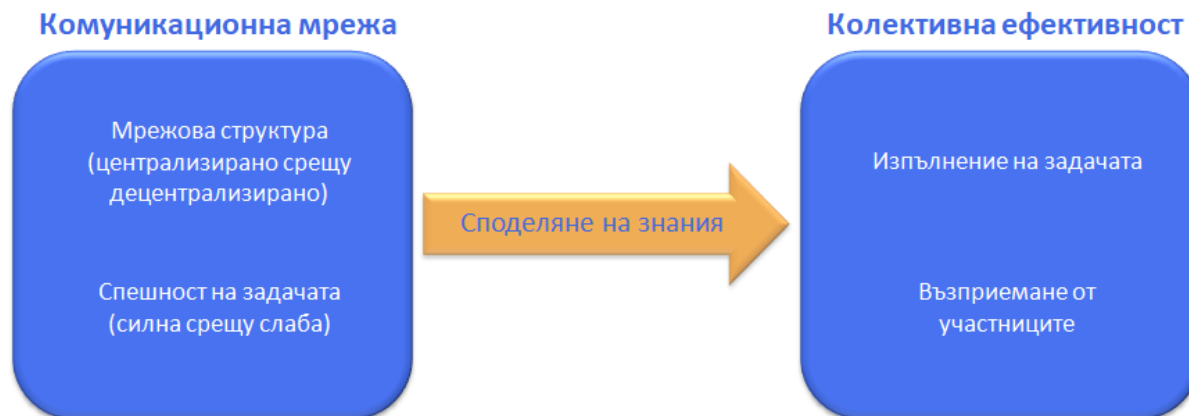
Фигура 1.9. Таксономия на моделите на взаимодействие между агентите
(Адаптирано от: Bandini Stefania, Sara Manzoni and Giuseppe Vizzari, *Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective*, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12 (4) 4, 2009, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/4.html>)

1.3.3. Йерархични и децентрализирани комуникационни модели

Контролът върху йерархичните стратегии позволява управление на сложността при разпространението на информация. Този подход решава предизвикателствата, свързани с управлението на ресурси, контрола на предаването и каталогизирането на информация, което го прави ефективен и икономичен [Zhu et al., 2010].

Йерархичният модел се характеризира със структурирана комуникация отгоре надолу и е широко използван в корпоративни среди. Децентрализираните модели, като peer-to-peer или базирани на блокчейн, осигуряват сигурна и разпределена комуникация.

Хибридните структури съчетават предимствата и на двата подхода, оптимизирайки автоматизацията на работния процес. Във Фигура 1.10 се илюстрира теоретичен модел на централизирана/децентрализирана комуникационна структура.



Фигура 1.10. Теоретичен модел на централизирана/децентрализирана комуникационна структура (Адаптирано от: Ding, X., Shen, W., & Wang, S. (2024). Centralized or Decentralized? Communication Network and Collective Effectiveness of PBOs — A Task Urgency Perspective. *Buildings*, 14(2), 448. <https://doi.org/10.3390/buildings14020448>)

В Таблица 1.1 са отразени основните разлики между централизирани и децентрализирани модели по критерии като вземане на решения, комуникация, отговорност и мащаб на компанията.

Основни разлики	ЦЕНТРАЛИЗИРАНА	ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНА
Вземане на решение	Един основен контролиращ елемент дефинира процесите и стратегиите.	Различни компоненти в системата взимат самостоятелни решения, свързани с техните области.
Комуникация	Потоъкът на информация е предимно еднопосочен, от управляващия център към изпълнителните елементи, които реализират задачите.	Компонентите на системата обменят информация по-гъвкаво и директно помежду си, което позволява по-свободен обмен на информационни потоци.
Отговорност	Основната отговорност е концентрирана в централния управляващ елемент, който ръководи изпълнението на информационните процеси с минимална външна намеса.	Отговорността е разпределена между взаимодействащите компоненти в комуникационната система, което осигурява възможност за обратна връзка и адаптация в управлението на информационните процеси.

Масщаб на системата	Този модел е често подходящ за системи с по-малък мащаб или по-малък брой взаимодействащи елементи и информационни потоци.	Обикновено е ефективна за системи с голям мащаб и множество разпределени компоненти, където е необходимо гъвкаво управление на информационните процеси.
---------------------	--	---

Таблица 1.1. Сравнение между централизирани и децентрализирани модели

1.3.4. Теоретично-игров комуникационен модел

Съгласуването на управлението на ИКТ с организационните стратегии чрез рамки като ITIL и COBIT оптимизира комуникационните процеси, управлява сложността на услугите и процесите, повишава удовлетвореността на заинтересованите страни и оптимизира разходите [Marchao et al., 2020].

Теоретично-игровият модел оптимизира стратегическите взаимодействия между агенти в конкурентни или кооперативни настройки и намира приложение в стратегии за киберсигурност, бизнес преговори и вземане на решения, управлявани от изкуствен интелект.

Теорията на игрите изучава стратегическите взаимодействия, при които двама или повече играчи вземат решения, като резултатите за всеки зависят от изборите на другите.

1.3.5. Моделиране и симулация в комуникацията

Интегрирането на комуникацията между проектиране, производство, маркетинг и управление чрез моделиране и симулация оптимизира цялата верига за разработване на продукти и процеси. Тази интеграция подпомага сложни задачи като оптимизация на процеси и вземане на решения, обхващайки процесни единици и подразделения на компанията [Balasko et al., 2008].

1.3.6. Управление на качеството на данните в информационни процеси

Интегрирането на качеството на данните в модели на процеси позволява подробни, специфични за контекста дефиниции и подобрява комуникацията между заинтересованите страни. Това подпомага подобряването на качеството на данните и оптимизира информационните процеси.

Управлението на качеството на данните придобива все по-голямо значение, като акцентът е върху интегрирането му в модели на процеси, което позволява контекстно-специфично определение и разбиране на качеството на данните. Съществуващите подходи за моделиране на процеси често не включват изрична връзка между измеренията на качеството на данните и производството на специфични информационни продукти [Glowalla et al., 2014] и [Demirdöğen et al., 2020]. Комуникационно-ориентираното представяне на процесите е разгледано в [Shaw&Edwards, 2006] и [Romanenko, 2016].

Фигура 1.11 илюстрира структурирано представяне на основните направления и взаимовръзки, залегнали в комуникационните стратегии. Графичното изображение очертава разклонената конфигурация на стратегическите комуникационни процеси, като визуализира тяхната обвързаност с ключови организационни домейни, които имат съществено значение за ефективното управление и усъвършенстване на информационните потоци.



Фигура 1.11. Комуникационни стратегии (Scopus)

1.4. Комуникационни стратегии в дигитална среда

Комуникационните стратегии в цифровата среда се фокусират върху постигането на поставените цели чрез използване на онлайн платформи и инструменти. Моделирането на тези стратегии включва дефиниране на структури, процеси и взаимодействия в организация или система, което помага да се визуализира и подобри обменът на информация.

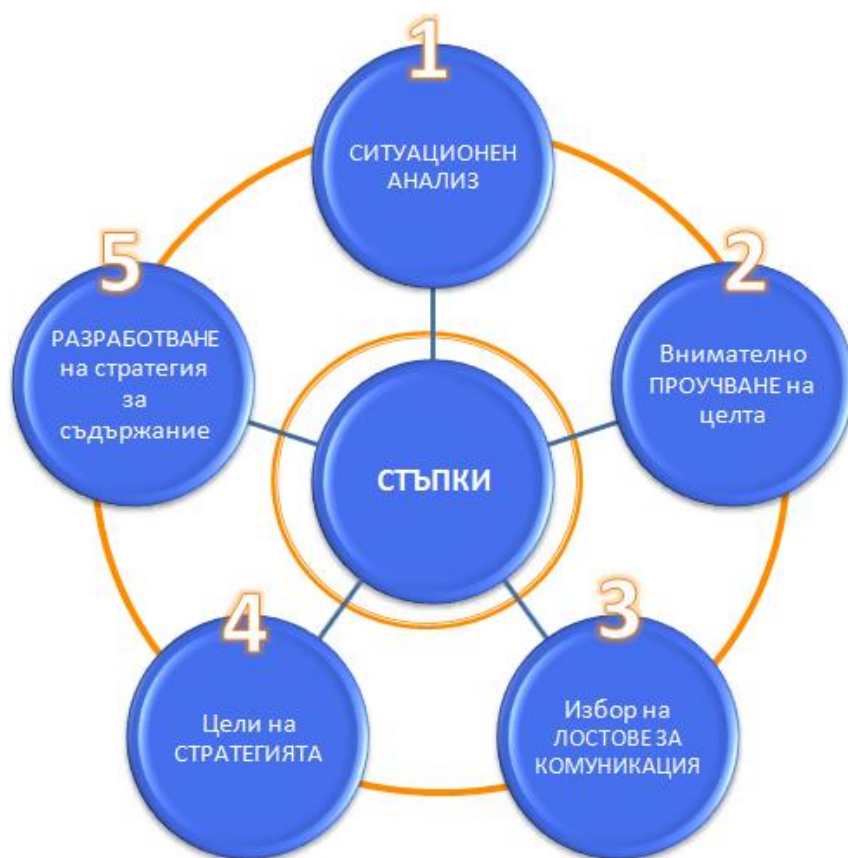
Стратегическата комуникация представлява преднамерен и систематичен подход за предаване на съобщения, които са в съответствие с ценностите и целите на организацията. Този процес включва планиране, изработване и разпространение на съобщения по различни канали, насочени към специфични аудитории с цел постигане на желаните резултати.

Управлението на информацията може да бъде концептуално разделено на ключови фази – събиране, съхранение, анализ и предаване на информация, които формират обща рамка за дейностите по управление на информацията [Hinton, 2006]. Комуникацията е процес, който непрекъснато се усъвършенства и има многоизмерна перспектива [Uka, 2014; Wuersche et al., 2024].

Разработването на дигитална комуникационна стратегия включва няколко последователни и взаимно свързани стъпки (Фигура 1.12), насочени към постигане на организационни цели чрез ефективен информационен обмен.

Първата фаза обхваща събиране и анализ на релевантна информация, последвана от нейното съхраняване и систематизиране. На този етап се определят основните канали и целеви аудитории. Особено внимание се обръща на избора и използването на подходящи комуникационни лостове – канали, платформи и формати за предаване на послания, които усилват въздействието върху целевите групи.

Следващите стъпки включват анализ и интерпретация на данните, както и формулиране на ключови съобщения, които се предават чрез подходящи комуникационни платформи. Целият процес е съпътстван от механизми за мониторинг, обратна връзка и адаптация, които гарантират ефективността и устойчивостта на стратегията във времето.



Фигура 1.12. Стъпки в създаване на дигитална комуникационна стратегия
(Адаптирано от: <https://dottopia.com/what-is-digital-communication-strategy/>)

Стъпките при разработване на дигитална комуникационна стратегия са тясно свързани с основните изисквания към ефективната стратегическа комуникация, представени в Таблица 1.2. Всяка фаза от процеса – от събирането и анализа на информация до нейното предаване и адаптация – следва да бъде съобразена с принципи като двупосочна комуникация, ангажираност на заинтересованите страни и съответствие с организационната култура.

Успешната стратегия следва да интегрира социални, технически и управленски компоненти, както и да използва подходящи канали и да гарантира непрекъснато усъвършенстване на комуникационните практики.

Характеристика	Описание
Взаимовръзка на социални, технически и управленски компоненти	Интегрирането на социални, технически и управленски елементи гарантира, че комуникацията е изчерпателна и обхваща всички аспекти на организацията.
Комуникация отгоре надолу и отдолу нагоре	Информацията трябва да тече двупосочно, като се гарантира, че всички нива на организацията са ангажирани и информирани.
Привеждане в съответствие с организационната култура и стратегия	Това подравняване помага за постигането на организационните цели и повишава ефективността на организацията.
Канали за разпространение на информация	Идентифицирането и използването на основните канали за разпространение на информация е от решаващо значение. Това включва както официални, така и неформални канали, за да се гарантира, че информацията достига ефективно до всички съответни заинтересовани страни.
Фази на управление на информацията	Комуникационната стратегия трябва да обхваща ключови фази от управлението на информацията: събиране, съхраняване, анализиране и предаване на информация. Този структуриран подход гарантира, че информацията се управлява ефикасно и ефективно.
Стратегическо привеждане в съответствие с ИКТ	Комуникационните стратегии трябва да бъдат съгласувани с ИКТ. Това съгласуване помага за оптимизиране на използването на ИКТ за по-добро управление на информацията и процесите на вземане на решения.
Ангажираност на заинтересованите страни и обратна връзка	Това гарантира, че комуникационната стратегия е добре приета и разбрана от всички участващи страни, улеснявайки по-плавното прилагане на стратегиите.
Непрекъснато подобряване и адаптиране	Комуникационните стратегии трябва да бъдат динамични и адаптивни към промените. За поддържане на ефективна комуникация е необходимо непрекъснато усъвършенстване въз основа на обратна връзка и променящи се организационни нужди.

Таблица 1.2. Основни изисквания към комуникационните стратегии

Изследванията в тази област изискват интердисциплинарен подход и задълбочено проучване на интелектуалното ядро на стратегическото планиране [Alcaide et al., 2024].

Комуникационната стратегия служи за информиране, тъй като само ако знаем къде искаме да отидем, можем да намерим пътя до там. Тя подготвя сцената за промяна, като гарантира, че заинтересованите страни разбират новата или преработена стратегия и могат да планират необходимите промени в своята област на влияние. Освен това, стратегията има за цел да убеди заинтересованите страни, че направените стратегически избори са оптимални и устойчиви. Успехът на комуникационната стратегия зависи и от това дали получателите на съобщенията се чувстват взети на сериозно [Diderich, 2020].

Прилагането на комуникационни организационни стратегии е съществен фактор за ефективността на организациите. В съвременния свят комуникационната стратегия се превръща в елемент на конкурентоспособността на организационните структури, мрежи, управление на знания и компетенции и сътрудничество [Mellah et al., 2006].

Всеки метод на комуникация отразява различен аспект на бизнес процесите – единият акцентира върху дейностите и тяхната последователност, а другият върху мрежата от комуникационни взаимодействия в процесите. Фокусът върху комуникационно-ориентирания изглед повишава качеството на моделирането, като се съсредоточава върху потока от информация, а не само върху извършените дейности [Danesh&Kock, 2005]. За да бъде ефективна, комуникационната стратегия трябва да включва съвременни компоненти, които интегрират технологични и организационни елементи.

1.5. Компоненти на съвременните комуникационни стратегии

1.5.1. Интегриране на информационните и комуникационните технологии

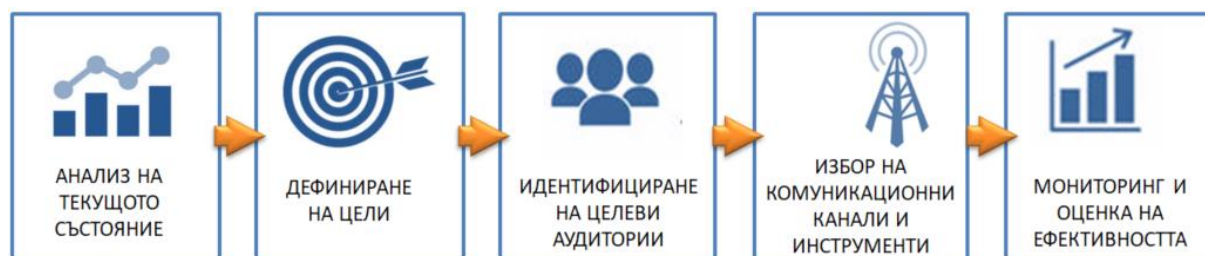
Интегрирането на ИКТ е фундаментален елемент за съвременните комуникационни стратегии. Технологиите предоставят инфраструктурата, инструментите и платформите, които позволяват ефективното събиране, обработка,

съхранение и разпространение на информация. Те подпомагат автоматизацията на процесите и улесняват взаимодействието между различните участници в комуникационната верига.

ИКТ включват разнообразни цифрови устройства, софтуерни решения, комуникационни мрежи и платформи за обмен на данни, които създават дигитална среда за управление на информацията. Тази среда позволява на организациите да адаптират комуникационните си процеси към динамичните изисквания на пазара и да осигурят достъп до актуална и релевантна информация в реално време.

1.5.2. Стратегическо планиране и управление на комуникацията

Комуникационната стратегия представлява систематичен и преднамерен процес, който включва планиране, изработване и разпространение на съобщения, съобразени с ценностите и целите на организацията. Този процес обхваща няколко ключови етапа (Фигура 1.13) - анализ на текущото състояние, дефиниране на цели, идентифициране на целеви аудитории, избор на подходящи канали и инструменти, както и мониторинг и оценка на ефективността.



Фигура 1.13. Ключови етапи в комуникационната стратегия

Стратегическото планиране гарантира, че комуникационните дейности са насочени и координирани, което подпомага постигането на организационните цели и улеснява управлението на промяната. Комуникационната стратегия информира заинтересованите страни за посоката на развитие, подготвя ги за предстоящите промени и ги убеждава в устойчивостта и оптималността на предприетите решения.

1.5.3. Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци

Ефективната комуникация изисква интеграция между различните организационни процеси – проектиране, производство, маркетинг, управление и други. Моделирането и симулацията на комуникационните потоци спомагат за оптимизация на веригата за разработване на продукти и услуги, като осигуряват синхронизация и координация между отделните звена.

Това интегриране позволява по-добро управление на сложността, намалява излишните ресурси и подобрява цялостната ефективност на организацията.

1.5.4. Човешкият фактор и културният контекст

Комуникацията не е само технологичен процес, а и социален феномен. Успешните комуникационни стратегии вземат предвид човешкия фактор – мотивацията, нагласите, културните особености и очакванията на участниците в комуникацията. Осъзнаването на тези аспекти подпомага изграждането на доверие, сътрудничество и устойчиви взаимоотношения.

Комуникационните стратегии трябва да бъдат адаптирани към специфичния културен и социален контекст, в който се прилагат, за да бъдат ефективни и възприети от аудиторията.

1.5.5. Мониторинг, оценка и адаптация

Успешните комуникационни стратегии включват механизми за мониторинг и оценка на постигнатите резултати. Това позволява своевременно идентифициране на проблеми, адаптиране на подходите и оптимизиране на комуникационните процеси.

Използването на аналитични инструменти и обратна връзка от заинтересованите страни подпомага непрекъснатото усъвършенстване на стратегията и постигането на по-висока ефективност.

Комбинацията от технологични решения, стратегическо планиране, управление на качеството на данните, интеграция на процесите, внимание към човешкия фактор и постоянен мониторинг формират основата на съвременните комуникационни стратегии. Този комплексен подход позволява на организациите да управляват

информационните процеси по-ефективно и да постигат устойчиви конкурентни предимства в динамичната дигитална среда.

1.6. Роля и въздействие на ИКТ в комуникационните стратегии за управление на информационни процеси

1.6.1. Значение на ИКТ за вземане на решения и управление

Информационните и комуникационните технологии са от решаващо значение за вземането на решения, като предоставят надеждни методи за събиране, достъп, съхраняване, обработка, разпространение и оценка на информация. Тази интеграция гарантира, че вземащите решения имат достъп до точна и навременна информация, което е от съществено значение за ефективното управление.

Вземането на решения в новите технологии е ключова дейност за повишаване на конкурентоспособността, особено за технологичните организации. Процесът на вземане на решения изисква използването на инструменти на информационните технологии, тъй като количеството информация е голямо и изисква надеждни методи за събиране, достъп, съхранение, обработка, разпространение и оценка, за да се предостави надеждна информация на вземащите решения. Стратегията на една организация трябва да вземе предвид интегрирането на този аспект с други организационни функции [Escobar-Toledo&Martínez-Berumen, 2011; 2013].

Базираната на информация икономика насърчи по-голяма конкуренция между фирмите. Информационните и комуникационни технологии се превърнаха в един от основните фактори, влияещи върху процеса на вземане на решения във фирми, работещи в глобален контекст. Серия от информационни и комуникационни технологии може да помогне с различни видове и нива на процеса на вземане на решения в организациите. Различни видове информационни и комуникационни технологии могат да бъдат приложени за подобряване на процеса на вземане на решения в областта на информационните системи за управление в организациите [de Heredero & de Heredero, 2010].



Фигура 1.14. Значение на ИКТ за вземане на решения и управление

Привеждането в съответствие на ИКТ с организационните стратегии помага за рационализиране на операциите и подобряване на процесите на вземане на решения. Предизвикателството при привеждането в съответствие на стратегията и ИКТ, обикновено наричано стратегическо привеждане в съответствие, продължава да бъде ключов въпрос за управлението на ИКТ в продължение на много години. С течение на времето стратегическото подравняване се разви и стана известно по-доброто разбиране за сложния характер на концепцията. Гледната точка на стратегическия процес като полезен механизъм, чрез който да се съгласуват стратегията и ИКТ, подчертава някои ключови дейности за разглеждане [Caffrey&McDonagh, 2015].

1.6.2. Роля на ИКТ в управлението на знания и иновации

Базираните на информация инструменти подпомагат придобиването, разпространението и използването на знания, които са жизненоважни за иновациите, насочени от служителите, и цялостната организационна ефективност.

Организациите, които се фокусират върху иновациите, управлявани от служителите (EDI), използват инструменти, базирани на ИКТ в своята иновационна работа. EDI включва систематично използване на ресурси от знания в организациите.

По този начин ролята на ИКТ за ефективно управление на знанието е важна в това отношение.

Базираните на ИКТ инструменти могат да поддържат процесите на придобиване, разпространение и използване на знания, които са важни аспекти на EDI. Използването на базирани на ИКТ инструменти обаче трябва да бъде съобразено с организационните структури и професионалното поведение, за да бъде ефективно.

Перспективите за управление на знанието, управление на технологии и управление на човешките ресурси трябва да бъдат комбинирани, за да се разбере как EDI може да бъде насърчаван чрез използване на ИКТ в организациите [Gressgård et al., 2014].

1.6.3. Интеграция и дигитализация на управленските системи

Информационните и комуникационни технологии предлагат на организациите способността да рационализират своите оперативни, тактически и стратегически процеси и да укрепят комуникационните връзки, улеснявайки предаването на информация и вземането на решения. Следователно е необходимо компаниите, независимо от тяхното естество, да бъдат насърчавани да въведат модерни автоматизирани и комуникационни системи и да се възползват от ИКТ. Въпреки това, преди да приложите каквито и да е промени в организацията, е необходимо да направите оценка на текущата си ситуация, тоест: нейните организационни и комуникационни процеси, присъщи на тези структури; нейната технологична платформа, обхват на изучаване и древни времена; подготовката на служителите да посрещнат предизвикателствата, което означава да се включат ИКТ в рутинни процеси на компанията [Álvarez et al., 2014].

Дигитализацията на системите за управление чрез проектни подходи и ИТ аутсорсинг е от съществено значение за интегрирането на бизнес процеси с обща информационна комуникационна инфраструктура. Ефективната трансформация на системата за управление на предприятието в условията на цифровизация на инфраструктурата за управление на информацията на организацията се осъществява чрез проектния подход и такава форма на междуинституционално взаимодействие като ИТ аутсорсинг, като се вземе предвид стратегическото насочване на аутсорсинг

проекти. Разширяването на практиката за използване на информационни комуникационни технологии, мрежовото управление на предприятията по отношение на интегрирането на техните бизнес процеси с използването на обща информационна комуникационна инфраструктура е основата за преход към технологиите на четвъртата индустриална революция [Abrosimov et al., 2020].

Разработването на силно адаптивни информационни системи и технологии позволява на организациите да отговорят на променящите се изисквания на цифровата икономика. Това включва интегриране на системни, стратегически, информационни и целево ориентирани подходи за ефективно моделиране на организационните структури.

Методологични и практически аспекти на процеса на създаване на съвременни високо адаптивни информационни системи и технологии за ефективно управление на цифрово технологично предприятие, като се вземат предвид изискванията на цифровата икономика, са насочени към задоволяване на обществени и индивидуални нужди, позволяващи повишаване на ефективността на бизнес процесите. Разработване на ефективни информационни и комуникационни технологии, отчитайки сложността и интеграцията на системни, стратегически, информационни и целево ориентирани подходи, ще позволи успешно да се моделират организационни структури под формата на системи от обекти и да се изграждат динамично развиващи се структури [Dzhamaldinova et al., 2021].

1.6.4. Необходимост от динамично адаптиране на комуникационните стратегии

Новите изисквания на околната среда изискват адаптация чрез подобряване и промяна на комуникационни стратегии. Този динамичен подход е от съществено значение за поддържане на конкурентоспособността.

Ефективните ИКТ стратегии включват цялостни процеси за управление на риска, за да се гарантира, че ИКТ действията добавят стойност към бизнеса и максимизират възвръщаемостта на инвестициите. В публичния сектор стратегическите бизнес цели са тясно свързани с осигуряването на ползи за обществото. Действията на ИКТ присъстват във всички организационни процеси и включват големи бюджети. Рисковете, присъщи на планирането на действията в областта на ИКТ, трябва да бъдат

взети предвид, за да могат ИКТ да добавят стойност към бизнеса и да увеличат максимално възвръщаемостта на инвестициите за населението [deFreitas et al., 2018].

Прилагането на ИКТ стратегии изисква постепенен и дългосрочен план за преход, който отчита динамиката на организацията и ограниченията на ресурсите.

1.7. Предизвикателства при прилагането на комуникационни стратегии за управление на информационните процеси в организационното управление

1.7.1. Сложни организационни структури

Матричната организационна структура представлява уникални комуникационни предизвикателства поради своята сложност и чувствителност към междуличностните комуникации. Тази сложност може да попречи на ефективното прилагане на комуникационните стратегии. Сложният характер на матричната организационна структура представя комуникационна рамка, несравнима с никоя друга управленска позиция, създавайки организационна среда, която е уникално чувствителна към междуличностните комуникации [Gillard, 2005].

1.7.2. Децентрализирано споделяне на данни

Ефективната оценка на заявките и интегрирането на информация остават значителни предизвикателства, особено при децентрализирани системи за споделяне на данни. Проблеми като припокриването на информация и необходимостта от обработка на данни между източниците усложняват оптимизирането на комуникационните стратегии. Проблемът с децентрализираното споделяне на данни е от значение за широк кръг от приложения и все още е източник на големи теоретични и практически предизвикателства, въпреки многогодишните продължителни изследвания в информационната интеграция. Акцентът е върху предизвикателството за оптимизиране на ефективността при оценката на заявките в системите за информационна интеграция, с цел разработване на универсални и лесно приложими стратегии за обработка на заявки в реални приложения [Chen et al, 2008].

1.7.3. Ефективна комуникация и контрол на управлението

Ефективната комуникация в рамките на организациите изисква адресиране както на междуличностни, така и на организационни комуникационни канали. Липсата

на ефективни комуникационни механизми може да възпрепятства процеса на контрол на управлението и цялостната ефективност на организацията.

Теорията на Хабермас за комуникативното действие илюстрира уместността на възприемането на комуникационен подход, за да се разбере по-добре процеса на контрол на управлението. Комуникацията е ключов елемент в процеса на контрол на управлението и че го позволява чрез два специфични канала: междуличностна и организационна комуникация. Този режим на комуникативен контрол на управлението е в съответствие с новите предизвикателства и възможности за растеж, които възникват в условия като тези на предприемачеството [Chtioui&Dubuisson, 2020].

1.7.4. Динамични и развиващи се изисквания

Променящи се изисквания на средата налагат динамични комуникационни стратегии. Нивото на абстракция на информационните системи често не отговаря на тези развиващи се нужди, което води до конфликти и неефективност. Компетентната комуникация е от решаващо значение за обучението и разбирането на служителите по време на внедряването на нови процеси. Неправилната комуникация може да създаде пропуски между това, което служителите смятат, че знаят, и това, което всъщност знаят, което се отразява на успеха на трансформациите на процесите.

Необходим е системен подход към трансфера на информация през и между всички нива на операции, за да се разберат факторите, влияещи върху ефективната комуникация по време на усилията за внедряване на нови процеси.

Чрез прилагане на концепциите на общата теория на системите за разбиране на ефектите на комуникационната система върху обучението на служителите, пропагандата между това, което служителите смятат, че знаят, и това, което всъщност знаят, се изследва за комуникационни фактори, които влияят върху обучението на служителите. [Kittelman et al, 2016]. Ефективността на средствата за комуникация често зависи от тълкуването на тяхната полезност от ръководството [Bendoly et al, 2008].

1.7.5. Технологична интеграция и адаптация

В рамките на комуникационните системи за управление на информационни процеси, съвременната дигитална трансформация изисква оптимизирани

комуникационни стратегии. Това е пряко свързано с прехода към електронно управление на документи и нужда от непрекъснат и бърз контрол на качеството и управление на информационните потоци.

Въпреки това, сложността на интегрирането на различни източници на информация и поддържането на актуална информация поставя значителни предизвикателства.

В съвременния свят по-голямата част от управленските процеси се развиват чрез трансфер на текстова информация, организирана и структурирана по определен начин. Преминаването към електронен документооборот, ускоряването на процесите по управление, изискването за непрекъснат и бърз контрол на качеството и управление води до формирането на такива текстове в непрекъснат режим.

По този начин процеса на управление се осъществява в непрекъснато комуникативно взаимодействие, където всеки елемент е свързан с различни други видове комуникации. На комуникационно е необходим машинен контрол на всички етапи от организацията и работата, за да се поддържа непрекъснат комуникативен контакт. Това е необходимо за изграждане на разбиране и оптимизиране на съществуващите текстове на всяко ниво на организация, за да се осигури тяхното актуализиране в реално време в системите за организация и управление.

На практика това се постига чрез сложен процес на включване на текста на съществуващата регулаторна рамка в текстове с адаптивен оптимизационен характер и регулиране на хода на работата с оглед на избрания модел на управление. Колкото по-голяма е организацията, толкова по-сложен и хетерогенен е процесът на обмен на текстова информация, контролен и отчетен характер [Pobegaylov et al, 2016]. Подобно на традиционния хардуер, облачната инфраструктура трябва да бъде документирана в ЕА модел, за да се придобие представа за нейните връзки с бизнес информационните системи и в крайна сметка бизнес целите [Farwick et al, 2010].

Тези предизвикателства подчертават многостранния характер на прилагането на оптимизирани комуникационни стратегии в управлението на информационните процеси, изисквайки цялостен подход, който се отнася до организационни, технологични и междуличностни фактори.

1.8. Оптимизация и усъвършенстване на комуникационните стратегии

В съвременната дигитална среда, където информационните потоци са изключително динамични, оптимизацията на комуникационните стратегии се превръща в ключов фактор за организационния успех. Тази точка разглежда систематичните подходи за анализ, подобрене и адаптация на комуникационните процеси, като се акцентира върху интеграцията на нови технологии, управление на качеството и непрекъснатото усъвършенстване. Представените методи са базирани на актуални изследвания и добри практики, които гарантират устойчивост и конкурентоспособност на организациите.

1.8.1. Анализ и оценка на комуникационните процеси

Оптимизацията започва с детайлен анализ на съществуващите комуникационни процеси. Това включва изследване на използваните комуникационни модели – линейни, интерактивни, транзакционни и агент-базирани.

Анализът се базира на събиране на данни за честотата, каналите, качеството и резултатите от комуникацията, както и на обратната връзка от участниците в процеса. Чрез този подход се идентифицират силните и слабите страни на текущите стратегии и се създава основа за тяхното усъвършенстване.

Идентифицирането и анализът на проблемните зони в комуникационните процеси са ключови стъпки към тяхната оптимизация и повишаване на ефективността, посочени в Таблица 1.3. Ако някой от етапите е с по-ниска стойност (например „Анализ на текущото състояние“), това сигнализира за проблемна зона, която изисква допълнително внимание и подобрене.

1. Събиране на данни
• Анкети и интервюта: Провеждат се с участниците в комуникационния процес, за да се събере обратна връзка относно честотата, каналите, качеството и резултатите от комуникацията. • Наблюдение: Анализ на реални комуникационни ситуации с цел откриване на затруднения или неефективност.
2. Използване на комуникационни модели

• Линейни, интерактивни, транзакционни и агент-базирани модели: Изследват се различните аспекти на комуникацията – кой е източникът, как се предава информацията, кой е получателът и каква обратна връзка се получава.
3. Визуален анализ чрез графики и диаграми
• Графики като приложената: Визуализират се ключови етапи и възможни проблемни зони, което улеснява идентифицирането на слабите места.
4. Анализ на обратната връзка
• Качествен и количествен анализ: Оценява се съдържанието на обратната връзка, за да се установят често срещани затруднения, неясноти или липса на информация.
5. Оценка на ефективността на каналите
• Сравнение между различни канали: Установява се кои комуникационни канали са най-ефективни и къде се наблюдават затруднения или забавяния.
6. Определяне на причините за проблемите
• Коренен анализ: Анализ на причинно-следствени връзки, за да се открият първопричините за комуникационните затруднения.

Таблица 1.3. Идентифициране и анализ на проблемни зони в комуникационните процеси

Идентифицирането и анализът на проблемните зони в комуникационните процеси изисква систематичен подход, комбиниращ събиране на данни, прилагане на комуникационни модели, визуализация и задълбочен анализ на обратната връзка. Така се създава основа за целенасочено усъвършенстване и повишаване на ефективността на организационната комуникация.

1.8.2. Внедряване на съвременни информационни и комуникационни технологии

Интеграцията на иновативни ИКТ е съществена за оптимизацията на комуникационните стратегии. Развитието към електронно управление на документи и необходимостта от постоянен и своевременно контрол на качеството налагат създаването на ефективни комуникационни стратегии, осигуряващи бърз и прецизен обмен на информация.

Тези технологии включват цифрови устройства, софтуерни решения, комуникационни мрежи и платформи за управление на съдържание, които създават дигитална среда за управление на информацията. Внедряването на ИКТ позволява автоматизация на процесите, персонализиране на съобщенията и по-ефективно сегментиране на аудиториите. Например, използването на изкуствен интелект и мултиагентни системи позволява динамично адаптиране на комуникационните потоци спрямо нуждите на организацията и нейните клиенти.

Фигура 1.15 представя ролята на ИКТ в оптимизацията на комуникационните стратегии, като акцентира върху ключовите компоненти и тяхното взаимодействие.



Фигура 1.15. Интеграция на ИКТ в комуникационните стратегии

1.8.3. Съвременни индустриални разработки за комуникация при управление на информационни процеси

Един от най-ефективните методи за оптимизация е използването на аналитични инструменти, които позволяват непрекъснат мониторинг на ключови показатели за ефективност (KPI), като степен на ангажираност, обхват, честота на взаимодействие и конверсия. Тези инструменти събират и анализират големи обеми данни,

предоставяйки визуални отчети и препоръки за подобрене. На базата на тези данни организациите могат да вземат информирани решения и да адаптират комуникационните си стратегии в реално време.

В Таблица 1.4. са представени основни аналитични инструменти, използвани за оценка и оптимизация на комуникационните стратегии, с описание на техните функции и приложения.

Инструмент	Функции	Приложения
Trello	Управление на задачи и процеси	Планиране и проследяване на кампании
Asana	Координация на екипни задачи	Оптимизация на вътрешна комуникация
Slack	Реално времева комуникация	Подобряване на вътрешната комуникация
Microsoft Teams	Видео конферентни връзки и чат	Управление на дистанционни екипи
Lightico	Анализ на разговори и KPI	Оптимизация на клиентски взаимодействия
Google Analytics	Измерване на трафик и конверсии	Оценка на дигитални кампании
Hootsuite	Управление и анализ на социални медии	Мониторинг и адаптация на стратегии

Таблица 1.4. Основни аналитични инструменти за оптимизация на комуникационни стратегии

1.8.4. Управление на информационното претоварване

Гарантирането на качеството на информацията и управлението на информационното претоварване са критични аспекти на съвременните комуникационни стратегии. Висококачествената информация е от съществено значение за ефективното вземане на решения, докато трябва да има стратегии за предотвратяване на претоварването с информация.

Две са ключови концепции в сферата на съвременните комуникационни инфраструктури:

- Представата за качество на информацията - като пригодност за използване на информационни продукти, услуги и инфраструктури за различните заинтересовани страни.
- Описателната концепция за информационно претоварване, т.е. невъзможност за адекватно обработване на предоставеното количество информация [Eppler 2015].

В този дисертационен труд се предлага визуализация на баланса между количеството и качеството на информацията, подчертавайки важността на управлението на информационните потоци, за да се избегне претоварване и да се осигури ефективно използване на информацията.



Фигура 1.16. Крива на ефективност

Крива на ефективността илюстрира как увеличаването на количеството информация може първоначално да подобри качеството на вземаните решения, но след определена точка води до претоварване и намалена ефективност.

1.8.5. Интеграция на организационните процеси и комуникационните потоци

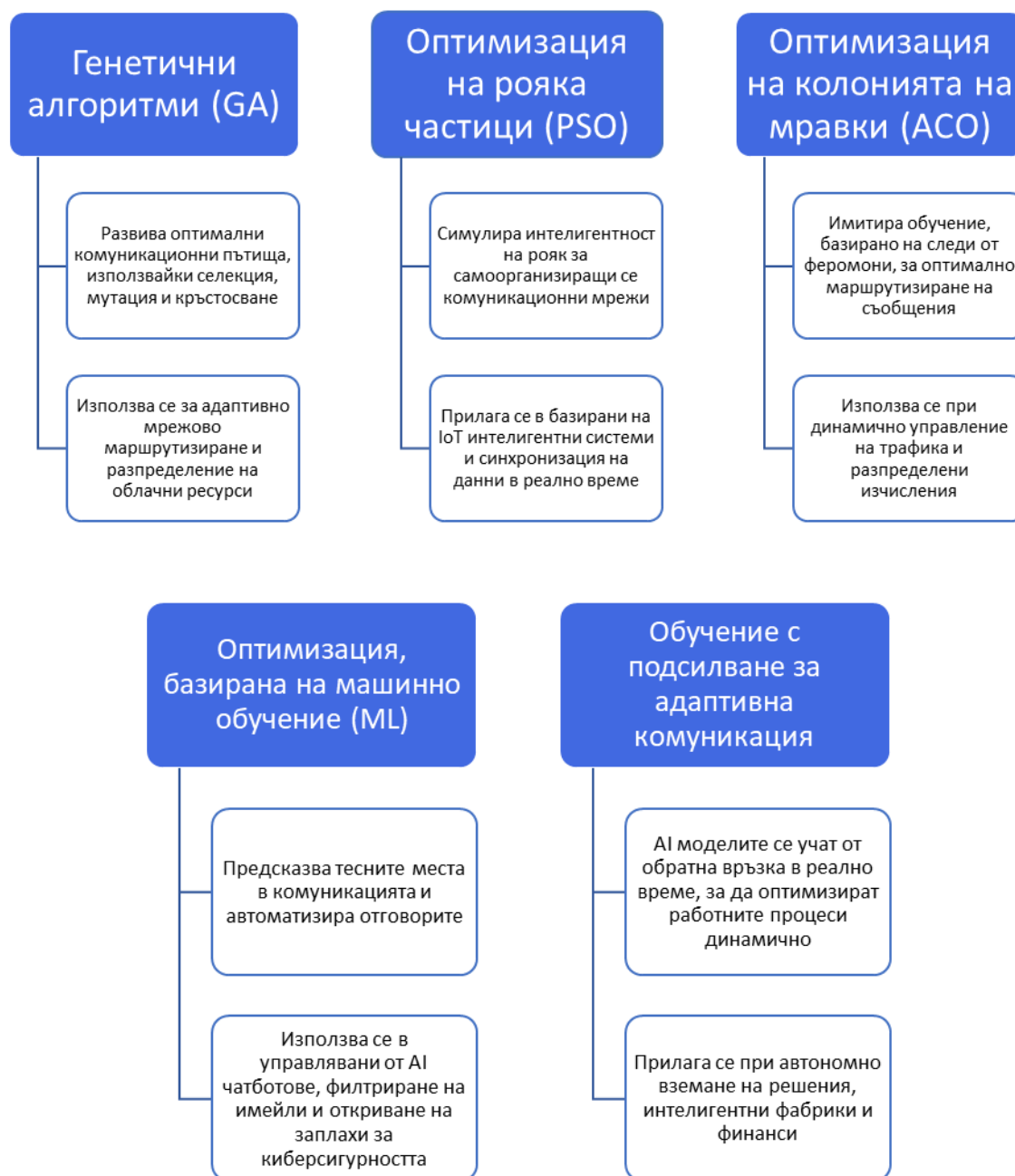
Оптимизацията на комуникационните стратегии изисква интеграция между различните организационни процеси – проектиране, производство, маркетинг, управление и други. Моделирането и симулацията на комуникационните потоци подпомагат оптимизацията на веригата за разработване на продукти и услуги, като осигуряват по-добра координация и обмен на информация между отделните звена. Тази интеграция позволява по-бърза адаптация към промените и по-ефективно управление на ресурсите, което е особено важно в динамичната дигитална среда.

1.8.6. Оценка на въздействието и непрекъснато усъвършенстване

Последният етап в оптимизацията е оценката на въздействието на предприетите мерки и непрекъснатото усъвършенстване на комуникационните стратегии. Това се постига чрез периодични ревизии, анализ на обратната връзка и внедряване на нови подходи в отговор на динамичните промени във външната среда. Постоянното усъвършенстване гарантира, че комуникационната стратегия остава релевантна, ефективна и конкурентоспособна, като същевременно подпомага устойчивото развитие на организацията.

1.9. Методи за оптимизация на комуникационните стратегии

За подобряване на комуникационните стратегии се прилагат евристични и управлявани от AI техники за оптимизация. Тези методи са предназначени да подобрят ефикасността и ефективността на комуникацията в сложни системи. Сред ключовите подходи са хиперевристиката – стратегия за избор и комбиниране на евристики въз основа на информация по време на търсенето, както и метавристичните техники, които подпомагат ефективното управление на информация чрез сътрудничество, комуникация и обмен на знания в сложни системи като логистика и дистрибуция, подпомагайки вземането на решения в съвременните организации.



Фигура 1.17. Методи за оптимизация

1.9.1. Техники и методи за оптимизация

В съвременната практика за управление на информационни процеси и комуникационни стратегии се наблюдава широко приложение на адаптивни и интелигентни методи за оптимизация. Тези техники позволяват ефективно управление на сложни мрежови системи, динамично разпределение на ресурси и подобряване на качеството на комуникацията в реално време:

- Генетични алгоритми (GA)

Генетичните алгоритми са стохастични оптимизационни методи, вдъхновени от процесите на естествен подбор и еволюция. Те използват операции като селекция, мутация и кръстосване, за да развият оптимални решения в търсене на най-добрите комуникационни пътища или конфигурации.

GA намират приложение в адаптивно мрежово маршрутизиране, където динамично се оптимизират пътищата на данни, както и в разпределението на облачни ресурси за постигане на баланс между натоварването и производителността. Техниката позволява преодоляване на локални оптимуми чрез стохастичния си характер и е особено подходяща за комбинаторни задачи с голямо пространство на решения. [Cormen, T. H. Et al, 2022]

- Оптимизация на рояка частици (PSO)

PSO е алгоритъм, базиран на поведението на рояци от частици, които чрез самоорганизация достигат до оптимални решения. Този метод симулира интелигентността на колективното поведение и се прилага успешно в самоорганизиращи се комуникационни мрежи, където адаптивността и бързината на реакция са критични. PSO се използва и в IoT системи за интелигентно управление и синхронизация на данни в реално време, осигурявайки ефективно разпределение на ресурси и минимизиране на закъсненията. [Heaton, J., 2014 и Iba Hitoshi, 2020]

- Оптимизация на колонията на мравки (ACO)

ACO алгоритмите имитират поведението на мравките при търсене на храна, използвайки механизми за маркиране на пътища с феромони. В комуникационните мрежи този подход се използва за динамично маршрутизиране на съобщения, като позволява адаптация към променящи се условия и натоварвания. ACO е приложим при управление на трафика и разпределени изчисления, където устойчивостта и гъвкавостта на мрежата са от съществено значение. [Heaton, J., 2014 и Iba Hitoshi, 2020]

- Оптимизация, базирана на машинно обучение (ML)

Машинното обучение предлага възможности за предсказване на тесните места в комуникационните процеси и автоматизиране на отговорите. Тези методи се интегрират в AI-базирани системи като чатботове, филтриране на имейли и системи за откриване на киберзаплахи, като по този начин повишават ефективността и сигурността на комуникацията. ML алгоритмите анализират големи обеми данни и адаптират стратегиите в реално време, което е ключово за съвременните динамични информационни системи [P. Petrov et al, 2021].

- Обучение с подсилване за адаптивна комуникация

Обучението с подсилване (Reinforcement Learning) се характеризира с това, че AI моделите се учат от обратна връзка, получавана в реално време, за да оптимизират комуникационните и работни процеси динамично. Този подход намира приложение в автономни системи за вземане на решения, интелигентни фабрики и финансови платформи, където адаптивността и бързата реакция са от решаващо значение. Обучението с подсилване позволява непрекъснато подобрене на комуникационните стратегии чрез взаимодействие с околната среда [P. Petrov et al, 2021].

1.9.2. Практически приложения на оптимизирани комуникационни стратегии

Съвременните комуникационни стратегии в корпоративната среда се базират на няколко ключови технологични направления:

- **Корпоративна комуникация и сътрудничество** - Виртуалните асистенти, управлявани от изкуствен интелект.
- **Облачни и разпределени изчисления** - Техниките за балансиране на натоварването в децентрализирани мрежи (като IPFS) оптимизират комуникацията между облачните сървъри, а решенията за периферни изчисления (Edge Computing) минимизират забавянията при приложения в реално време.
- **Киберсигурност и защитен обмен на информация** - Комуникацията, базирана на блокчейн, осигурява прозрачност и доверие чрез проследимост и неизменност на данните. AI-базираните системи за откриване на заплахи (като NIST 800-30 и SIEM) анализират аномалии и предотвратяват неоторизиран достъп.
- **Интернет на нещата (IoT) и интелигентни системи** - Самооптимизиращите се IoT мрежи се адаптират в реално време според трафика, а AI-подсилената

предсказуема поддръжка анализира данни за оборудването, подобрявайки надеждността и намалявайки прекъсванията.

Тези технологии формират основата на модерните комуникационни стратегии, които осигуряват ефективност, сигурност и адаптивност на информационните процеси в организациите.

КАТЕГОРИЯ	ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ	ПРЕДИМСТВА
Корпоративна комуникация и сътрудничество	Виртуални AI асистенти (ChatGPT Enterprise, AI чатботи)	Автоматизиране на клиентски заявки и генериране на съдържание
	Автоматизирано управление на работни процеси (Zapier AI, HubSpot AI)	Намаляване на човешката намеса в рутинни задачи
Облачни и разпределени изчисления	Балансиране на натоварването (IPFS, децентрализирани мрежи)	Оптимизиране на комуникацията между сървъри
	Периферни изчисления (Edge Computing)	Намаляване на забавянето в приложения в реално време
Киберсигурност и защитен обмен на информация	Блокчейн комуникация (проследимост, неизменност)	Гарантирано доверие и прозрачност
	AI откриване на заплахи (NIST 800-30, SIEM системи)	Предотвратяване на неоторизиран достъп чрез анализ на аномалии
Интернет на нещата и интелигентни системи	Самооптимизиращи се IoT мрежи (адаптация в реално време)	Адаптация към промени в трафика
	Подсилената с AI предсказуема поддръжка (анализ на данни за оборудване)	Намаляване на спирали и повишаване на надеждността

Таблица 1.5. Приложение в практиката

1.10. Съвременни тенденции в развитието на комуникационните стратегии за управление на информационните процеси

В съвременната дигитализирана икономика, използването на информационни и комуникационни технологии (ИКТ) е ключово за ефективното управление, тъй като значително опростява дейностите, подобрява потока от информация и процесите по вземане на решения. Информационните технологии представляват съвкупност от

методи за търсене, събиране, съхраняване, обработка, предоставяне и разпространение на информация, насочени към развитието на цифровизацията както на организациите, така и на обществото [Proskurina et al, 2023, Shatska, 2013].

Съвременните комуникационни технологии позволяват по-добро управление на потоците от информация и знания, а процесите на цифровизация изискват непрекъснато усъвършенстване на комуникационните процеси и управлението на знанията [Pondel&Pondel, 2017, Pondel&Pondel, 2019]

Докато организациите приемат дигиталната трансформация, комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси (IPM) се развиват, за да подобрят ефективността, автоматизацията и вземането на решения.



Фигура 1.18. Основни съвременни тенденции в развитието на комуникационните стратегии за управление на информационни процеси

1.10.1. Комуникация и автоматизация, управлявана от AI

Чатботовете и виртуалните асистенти, които работят с изкуствен интелект и използват обработка на естествен език (NLP), подобряват комуникацията в реално време, като намаляват нуждата от човешка намеса. Те разбират и генерират човешка реч, което им позволява да водят по-естествени и ефективни разговори, адаптирайки се към контекста и усъвършенствайки се чрез машинно обучение.

Освен това, AI подпомага процеса на вземане на решения, като анализира комуникационните модели и оптимизира маршрутизирането на съобщенията, предотвратявайки възникването на затруднения в информационния поток. Системите с машинно обучение разпознават модели в комуникацията и предвиждат потенциални проблеми, което повишава ефективността и качеството на обмена на информация.

Чрез предсказателен анализ, базиран на AI, се прогнозира необходимостта от информация, осигурявайки проактивна комуникация вместо реактивна. Това позволява на системите да предвидят кога и каква информация ще е нужна, улеснявайки навременния и целенасочен обмен на данни и подобрявайки цялостния комуникационен процес.

1.10.2. Управление на знания и големи данни

Развитието на Big Data и по-бързите изчислителни системи, включително квантовите изчисления, трансформира начина, по който данните се анализират и използват, което налага нови подходи за анализ на данни и извличане на информация.

Съвременните комуникационни стратегии силно разчитат на ефективното управление на знанието и използването на Big Data. Това включва използването на усъвършенствани ИТ инструменти за подпомагане на комуникацията и управлението на знанията, които са критични за управление на информационните потоци и вземане на информирани решения.

Растежът на информационните комуникационни технологии заедно с експоненциалния растеж на данните във всички области подтиква нови начини за прилагане както на критично мислене, така и на умения за концептуализация при създаване на смислени асоциации за ефективно вземане на решения. Концептуалните

умения се подобряват чрез използването на интерактивни техники за картографиране, свързани с онлайн ресурси. Способността да виждате връзки с данни и да ги свързвате с анализа на тенденциите е ключов аспект при използването на Big Data. Съчетано с възхода на Big Data е и развитието на по-бързи изчислителни системи, които могат да съпоставят и обобщават заявки за данни, инициирани от крайния потребител.

Ерата на квантовите компютри, при която техниките за търсене ще бъдат ускорени отвъд настоящите способности на скоростта на обработка на традиционните цифрови процесори, ще изисква различни начини за показване на информация и нейното анализиране. Естественият език и стратегиите за семантично търсене, напредъкът на търсачките и разработките на AI въвеждат по-нови подходи към анализа на данни. Чрез използването на двете техники за търсене, формулирани от хора, и комбинирането им с резултати, получени от машинно подпомагано обучение, се развива нова ера на достъп до информация. Скоростта на промяна в натрупването на знания налага стратегиите за търсене да бъдат плавни и генеративни в своя дизайн, а не статични или последователни. Управлението на знания също трябва да бъде интегрирано с динамична структура с дизайни на стратегии за търсене, които могат постоянно да използват по-нови форми на анализ на данни [Van De Bogart, 2015]. Подчертава се предпочитание към общи видове ИКТ и подкрепа за използване на знанието и подходи за кодификация [Handzicetal, 2008].

1.10.3. Управление на риска в цифровата трансформация

Дигиталната трансформация на компаниите въвежда нови рискове, които трябва да бъдат управлявани. Ефективните комуникационни стратегии трябва да включват механизми за управление на риска, за да се справят с несигурността и да използват нови бизнес възможности.

Стратегиите трябва да отчитат създаването на единно информационно пространство и управлението на рисковете от цифровата трансформация и особеностите на управлението на риска, свързани с дигиталното и информационно развитие на компаниите в съвременни условия. При създаването и осигуряването на единно информационно пространство на организациите възникват проблеми, изискващи стратегии и методи за управление на риска в тази област. Необходимо е да се идентифицират характеристиките на прилагането на механизми за управление на

цифровата трансформация в компаниите, насочени към създаване на ново ниво на координация на бизнес процесите на организацията, както и към оценка на рисковете, свързани с тях [Salutina et al, 2023].

1.10.4. Интерактивна и динамична комуникация

Съвременните комуникационни стратегии са все по-интерактивни, като използват нови технологии за подобряване на ангажираността и ефективността. Това включва използването на техники за динамични стратегии за търсене за по-добро управление и използване на информацията. Успехът на съвременната организация зависи не само от способността му да разработи добър продукт/услуга, да формира адекватна цена и да направи офертата си достъпна за клиентите, но и от това как да комуникира с целевата аудитория. За управлението на съвременни организации е голямо предизвикателство всички дейности да се извършват по правилен начин и да добавят стойност към различните заинтересовани страни.

Успешното управление все повече се основава на интерактивна комуникация и възприемане на нови технологии за маркетингова комуникация, като всички те допринасят за по-ефективен бизнес на компанията [Tešić, 2016].

1.10.5. Специфични за сектора на телекомуникациите приложения

Началото на 21 век бележи големи промени в световната икономика, свързани с непрекъснатата глобализация, дълбока трансформация на предприятията и организационната култура, обръщане към информационна и комуникационна икономика, базирана на големи масиви от информация и знания [Bekyarova-Tokmakova et al, 2021].

Внедряването на иновативни промени, преходът към нови бизнес модели за управление на веригата за доставки, промените в текущите бизнес процеси, създаването на нови се превърна в жизненоважен фактор за съществуването на организацията. В сектора на телекомуникациите развитието на цифрови стратегии е от съществено значение за поддържане на конкурентни предимства. Това включва приемането на иновативни цифрови решения и създаването на нови бизнес модели. Формирането на принципно нова цифрова стратегия за развитие на комуникациите ще представи нова цифрова платформа за практическа реализация на цифрови решения и

ще осигури повишаване на конкурентоспособността на всички отрасли на икономиката и подобряване на качеството на живот на населението.

Необходимостта от разработване на научно-методологични подходи към дефинирането на концепцията за цифрова стратегия в областта на телекомуникациите се осигурява от интеграционни и глобализационни процеси, които диктуват необходимостта от търсене на съвременни методи, инструменти и технологии за насърчаване на иновациите [Polyaninetal, 2017] [Martyakovaetal, 2019] [Folch&Tamayo, 2008] [Prokofiev et al, 2021].

1.10.6. Технологии за базирано в облак и отдалечено сътрудничество

Унифицираната комуникация като услуга (UCaaS) се реализира чрез платформи като Microsoft Teams, Slack и Zoom, които обединяват различни канали за комуникация – съобщения, видеоконференции и споделяне на файлове – в една интегрирана система. Тези платформи позволяват на потребителите да водят разговори, да организират срещи и да обменят информация в реално време, като осигуряват гъвкавост и ефективност в работния процес.

Облачните решения подкрепят адаптирането към хибридна и отдалечена работа, като осигуряват безпроблемна комуникация между разпределени екипи и позволяват споделяне на данни в реално време. Това улеснява сътрудничеството, независимо от местоположението на участниците, и поддържа продуктивността дори при работа от разстояние.

Децентрализираният достъп до информация се постига чрез облачно съхранение и блокчейн технологии, които подобряват прозрачността и сигурността в управлението на информационните процеси и комуникацията. Тези технологии гарантират, че данните са достъпни за оторизирани потребители по всяко време, като същевременно предпазват от неоторизиран достъп и манипулации.

1.10.7. Интегриране на IoT&EdgeComputing

Интелигентните устройства, свързани чрез Интернет на нещата (IoT), като сензори и други активирани устройства, осъществяват автоматизиран обмен на информация в реално време, което оптимизира процеса на вземане на решения.

Например, в производството това позволява предсказуема поддръжка, при която състоянието на машините се следи непрекъснато и се предприемат превантивни действия преди възникване на повреди.

За намаляване на комуникационната латентност в чувствителни към времето приложения за управление на информационните процеси (IPM) се използва edge computing – обработка на данните се извършва по-близо до източника им, вместо да се изпращат към централен облак. Това значително минимизира забавянията и подобрява бързодействието и надеждността на системите.

1.10.8. Оптимизация на комуникацията, управлявана от данни

Динамичната автоматизация на работния процес използва интелигентни системи, които регулират информационния поток в реално време, адаптирайки комуникацията според текущите условия и нужди. Това рационализира процесите, намалява забавянията и повишава продуктивността на организацията.

Технологията Digital Twin създава виртуални модели на реални процеси, които симулират различни комуникационни стратегии и сценарии. Това позволява да се анализират и оптимизират работните процеси, като се идентифицират най-ефективните подходи за управление и взаимодействие в реална среда. Така организациите могат да подобрят своите операции и да реагират по-бързо на променящите се изисквания.

1.10.9. Блокчейн и киберсигурност в комуникацията

Децентрализираните комуникационни мрежи, базирани на технологията blockchain, осигуряват висока степен на прозрачност, доверие и неизменност при споделянето на информация. Тази технология гарантира, че данните са защитени от промени и манипулации, като същевременно улеснява сигурния обмен между участниците в мрежата.

Моделите за сигурност с нулево доверие използват усъвършенствани протоколи, които минимизират риска от неупълномощен достъп и предотвратяват нарушения в комуникацията. Този подход изисква непрекъснато удостоверяване и проверка на всеки опит за достъп, което значително повишава нивото на защита на информационните системи.

Криптирането от край до край и защитените съобщения са ключови за опазването на чувствителни данни при обмен на информация, особено в сектори като здравеопазване и финанси. Тези технологии гарантират, че само оторизираните получатели могат да декриптират и прочетат съобщенията, като по този начин се осигурява поверителност и защита срещу киберзаплахи.

1.10.10. Адаптивна и съобразена с контекста комуникация

Изкуственият интелект (AI) адаптира комуникацията, като персонализира информационния поток в зависимост от ролите на потребителите, гарантирайки, че правилната информация достига до точните хора в подходящия момент. Интелигентните системи анализират факторите на околната среда и контекста, за да осигурят динамично адаптиране на комуникационните стратегии спрямо текущата ситуация. Освен това, чрез прилагането на стратегии за геймификация и интерактивни игрови подходи се повишава ефективността на комуникацията, особено при екипно сътрудничество и обучение.

1.10.11. Човекоцентрични и межкултурни комуникационни стратегии

Емоционалният AI анализира тона и настроението в съобщенията, с цел да подобри качеството на човешките взаимодействия и да осигури по-адекватна и съпричастна комуникация. Приобщаващите комуникационни стратегии включват многоезичен AI превод и културна адаптация, които улесняват ефективното осъществяване на глобални информационни процеси и комуникация (IPM). Освен това, дигиталната етика и отговорната комуникация с изкуствен интелект гарантират справедливост, прозрачност и отчетност в автоматизираните информационни процеси, като създават доверие и устойчивост в използването на AI технологии.

1.10.12. Бъдещи тенденции в оптимизацията на комуникационните стратегии

Технологичните иновации и променящите се потребителски очаквания трансформират комуникационните стратегии, като акцентът се поставя върху интеграцията на квантова сигурност, изкуствен интелект и хибридни технологии.

Квантова комуникация предлага изключително сигурно предаване на данни чрез квантово криптиране и квантово разпределение на ключове (QKD), което

гарантира неприкосновеност и защита срещу прихващане и хакерски атаки. Европейската инициатива EuroQCI и подобни проекти в България и НАТО развиват инфраструктури, които интегрират квантови системи в съществуващите комуникационни мрежи, осигурявайки допълнителен слой сигурност за критични институции и инфраструктури [<https://digital-strategy.ec.europa.eu/bg/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>].

5G и следващите поколения мобилни мрежи предоставят високоскоростна, нисколатентна свързаност, която е ключова за интегрираното управление на мултимедийни потоци (IPM) в реално време, поддържайки приложения с високи изисквания за качество и бързина на обмена.

Сътрудничеството с изкуствен интелект трансформира комуникационните процеси чрез персонализирани и автоматизирани работни потоци, които подобряват ефективността и адаптивността на обмена на информация. AI-базирани системи подпомагат както вътрешната, така и външната комуникация, автоматизират отговори и анализират данни в реално време.

Холографските интерфейси се очертават като бъдещето на човеко-машинния интерфейс (HMI), предоставяйки нови възможности за визуализация и обмен на информация, което ще подобри взаимодействието и сътрудничеството в различни среди.

Технологиите създават основа за ново поколение комуникационни стратегии, които са по-сигурни, по-бързи и по-интелигентни, отговаряйки на нарастващите изисквания на съвременните потребители и организации.

1.11. Изводи

В резултат на направения аналитичен обзор могат да бъдат изведени следните заключения: Моделирането и оптимизирането на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси значително подобрява тяхната ефективност, сигурност и адаптивност. Чрез използване на AI, евристични алгоритми и децентрализирани архитектурни модели, фирмите и организациите могат да постигнат ефективно, управлявано от данни вземане на решения в съвременните цифрови екосистеми.

Съвременните комуникационни стратегии в управление на информационните процеси се фокусират върху ръководена от AI автоматизация, базирано на облак сътрудничество, интеграция на IoT, анализ на данни и подобрена сигурност за оптимизиране на ефективността.

Бъдещите тенденции вероятно ще наблегнат на по-голяма адаптивност, персонализация и вземане на решения в реално време, за да се осигури безпроблемна комуникация във все по-сложни цифрови екосистеми. Интеграцията на технологиите в комуникационните стратегии за управление на информационни процеси включва оптимизиране на вземането на решения, подобряване на вътрешната комуникация, рационализиране на бизнес процесите, осигуряване на гъвкавост на организацията, управление на рисковете и засилване на сътрудничеството. Тези подходи позволяват на организациите да използват информационните и комуникационни технологии по-ефективно, с цел повишаване на общата им ефективност и конкурентоспособност.

1.12. Цел и задачи на дисертационния труд

От направения анализ на съвременни тенденции в разработване на комуникационни стратегии за управление на информационни процеси е формулирана целта на дисертационния труд: Да се разработят модели и методи за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси. За тази цел се дефинират следните задачи:

1. Да се разработят евристични методи за оптимизация на комуникационни стратегии при управление на информационни процеси в дигитална среда.
2. Да се предложи модификация на генетичните алгоритми за оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси.
3. Да се предложи метод за подобряване на ефективността на генетичните алгоритми за целите на управление на информационни процеси.
4. Да се разработят модели, които позволяват ефективна реализация и прилагане на разработените евристични методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси.
5. Да се предложи подход за оценка на ефекта от приложението на разработените модели и методи за оптимизация на комуникационни стратегии за управление на информационни потоци в разпределени дигитални среди.

Глава 2. Методи за евристична оптимизация на комуникационни стратегии в управление на информационни процеси

2.1. Евристични методи за оптимизация на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси

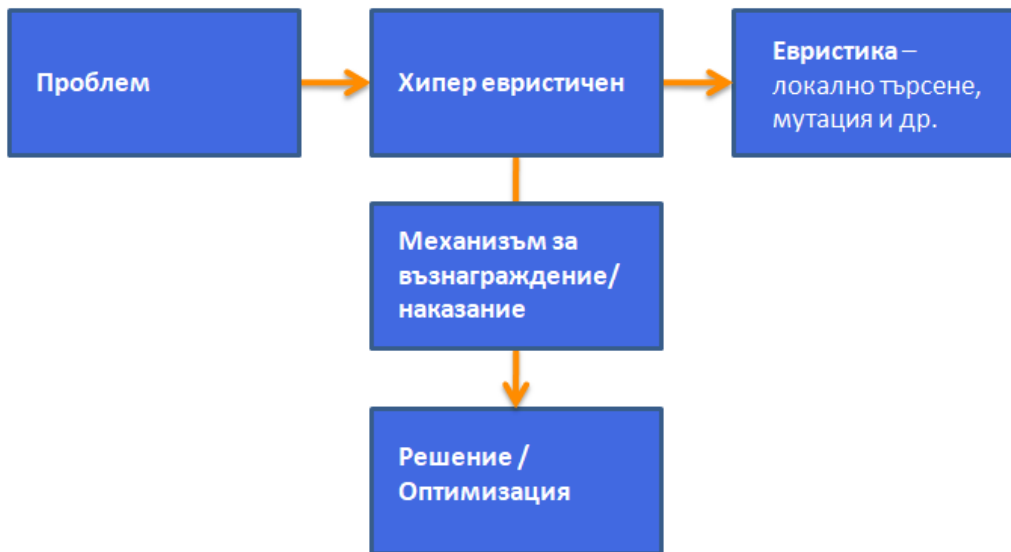
За оптимизиране на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси в този дисертационен труд се предлага да се използват няколко евристични и мета-евристични метода. Тези методи са предназначени да подобрят ефикасността и ефективността на комуникацията в сложни системи. Някои ключови подходи са:

- Хиперевристиката
- Мета-евристични техники

2.1.1. Хипер-евристика (HyperHeuristics)

Хиперевристиката е стратегия на високо ниво, която избира, комбинира или генерира евристика за решаване на проблеми въз основа на информация, получена по време на процеса на търсене.

Те обикновено включват вероятностен метод за подбор и могат да включват механизми за възнаграждение и наказание за оптимизиране на процеса на подбор. Хиперевристиката може да се използва в различни сценарии за оптимизация. [Navarro M.A. et al, 2023]



Фигура 2.1. Информация на процеса на търсене

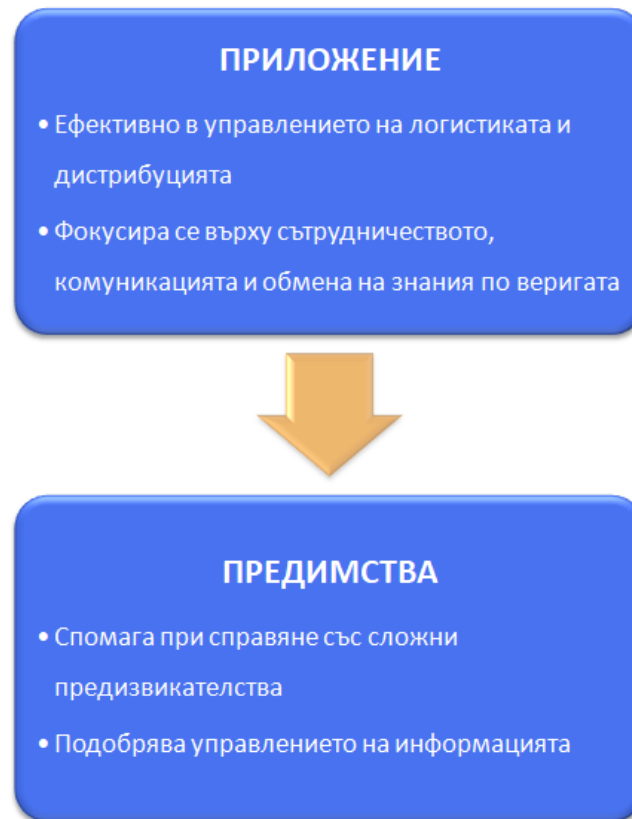
2.1.2. Мета-евристични техники (MetaHyper Heuristics)

Мета-евристичните техники представляват подходи за ефективно управление на информацията в сложни системи.

Информационните системи влияят върху управлението на логистиката и дистрибуцията върху снабдяването, планирането, доставката и нивата, вариращи от стратегически операции до организационна стратегия. Управлението на информацията е предизвикателна задача в логистиката и дистрибуцията в бизнеса. Веригата за доставки все повече се приема като важна помощ за намаляване на разходите и подобряване на услугите.

Използването на мета-евристични техники (MetaHyper Heuristics) за ефективно управление на информацията в логистиката и дистрибуцията, от производителите до клиентите, сигурността, има значителен фокус върху сътрудничеството на операциите, сътрудничеството, комуникацията и обмена на знания по веригата на доставки. Съвременните организации се нуждаят от усъвършенствани системи за подпомагане на вземането на решения, фокусирани върху оперативно статистическо моделиране и методи за решения и разработки на информационни и комуникационни технологии, за да се адаптират към предизвикателството на интеграцията. Това предполага, че мета-евристиката може да играе съществена роля при справянето със сложни логистични

предизвикателства от логистичната архитектура и управление в рамките на веригата за доставки. [Yang, Pengbo, 2022]



Фигура 2.2. Приложения и предимства

2.2. Генетичните алгоритми: Теоретични основи и модификации

2.2.1. Основни принципи на GA

Генетичните алгоритми са евристични глобални оптимизационни алгоритми, вдъхновени от естествения подбор и генетиката. Те често се използват за решаване на сложни оптимизационни проблеми, които са трудни за решаване с помощта на традиционни методи [Toskova A. et al., 2019]. В този дисертационен труд е предложена модификация на генетичните алгоритми, вдъхновена от ДНК.

Основната идея зад GA е да имитират процеса на естествен подбор и възпроизводство, за да генерират популация от потенциални решения на даден проблем. Процесът започва с произволна популация от кандидат-решения, наречена популация. Оптимизацията преминава в епохи на нови поколения.

Ключови етапи в GA:

- Селекция: Решенията, които се представят по-добре при проблема, е вероятно да бъдат избрани за възпроизвеждане. Чифтосването между индивидите се извършва след избор на по-добре пригодените индивиди. Повечето системи с GA избягват да вземат само най-приспособените индивиди от една популация при генерирането на следващата, а вместо това правят случайна (или полуслучайна) извадка с по-висок тегловен коефициент за по-приспособените индивиди.

- Кръстосване (Crossover): Две или повече решения се комбинират, за да се създаде ново решение.

- Мутация (Mutation): Прави се случайна промяна на решение, за да се въведе разнообразие в популацията.

Стойността на годността (fitness value) на всеки индивид се изчислява чрез предоставяне на кандидат-решението на оптимизираната целева функция. Тази функция присвоява числова оценка на всяко възможно решение, генерирано от GA, измервайки качеството на решението спрямо целите за оптимизация. В теорията на управление тя може да приеме формата на функция на грешката, а в теорията на игрите – функция на разходите. При всяка итерация на алгоритъма, годността на всеки индивид се оценява, и въз основа на тази оценка се създава следващата популация, съставляваща набора от потенциални решения.

С течение на времето популацията еволюира към по-добри решения, тъй като алгоритъмът многократно прилага тези оператори, за да генерира нови поколения кандидат-решения [Mateeva G, et al, 2023].

2.2.2. ДНК-вдъхновена модификация на генетични алгоритми

Както е добре известно, популацията на широко използваните GA се състои от хромозоми (или индивиди). Всяка хромозома има свой собствен живот в популацията, като такива хромозоми напомнят много на РНК в биологичния свят. Точно както РНК е вид генетичен код, който пренася информация от ДНК до рибозоми, генетичните алгоритми използват популация от кандидат-решения като вид генетичен код, който носи информация за потенциални решения на даден проблем. Подобно на РНК, генетичните алгоритми използват селективен натиск и случайни мутации, за да генерират разнообразни популации от кандидат-решения, които след това се оценяват

въз основа на тяхната пригодност или способност да решат разглеждания проблем. Еволюцията на тези популации във времето отразява как генетичната информация еволюира в живите организми, като най-подходящите решения оцеляват и се разпространяват, докато по-малко подходящите решения изчезват.

Въпреки че двоичното кодиране е най-често използваният метод в генетичните алгоритми, то не винаги е най-добрият избор за всеки оптимизационен проблем. Често е по-добре да се използва кодиране с реални числа за проблеми, включващи реални числа, като например референтните функции (Rastrigin, Sphere, Rosenbrock, and Styblinski-Tang). Кодирането на реални числа позволява по-директно представяне на проблемната област, тъй като гените в хромозомата представляват реални стойности, а не двоични. Това представяне може да доведе до по-бърза конвергенция и по-добри решения за специфични проблеми, особено тези, включващи непрекъснати променливи. Съществуват различни методи за кодиране на реални числа, като например кодиране с плаваща запетая или кодиране по Грей.

Възможно е разширяване на аналогията на генетичните алгоритми до сдвоени ДНК вериги. При този подход всяка хромозома в популацията би имала комплементарна двойка, подобно на базовите двойки в ДНК веригите. Този подход понякога се нарича двуверижни генетични алгоритми (DSGA). В DSGA, всяка хромозома се сдвоява с друга, за да образува комплементарна двойка, която след това се третира като едно цяло по време на операции по селекция, кръстосване и мутация.

Използването на сдвоени хромозоми в DSGA може да предложи няколко предимства пред традиционните GA:

- Те могат да позволят по-ефективно изследване на пространството за търсене, тъй като комплементарните двойки могат да предоставят допълваща информация, която да помогне в процеса на търсене.
- Сдвоените хромозоми могат по-ефективно да се справят с ограниченията в оптимизационните задачи.

Въпреки това, DSGA могат да са по-изчислително скъпи от традиционните GA, тъй като изискват поддържането на комплементарни двойки и изпълнението на операции върху двойките, а не върху отделни хромозоми.

Предложението е да се използват хромозомите като двоични близнаци с обърнати битове в популацията на генетичния алгоритъм. Този метод понякога се нарича оптимизация на битов низ с близнак. При този подход всяка хромозома в популацията е представена от два близнака, където битовете в единия близнак са инвертирани, за да образуват другия близнак. Този подход се възползва от универсалността на двоичното кодиране, където всеки проблем може да бъде кодиран като двоичен низ.

Едно от предимствата на използването на двойни хромозоми е, че те споделят една и съща стойност на годност, която се изчислява по-добре за всеки близнак. Това може да помогне да се избегне преждевременна конвергенция към неоптимални решения, тъй като двойните хромозоми могат да предоставят допълваща информация за пространството за търсене. Освен това, използването на двойни хромозоми може също да помогне за поддържане на разнообразието в популацията, тъй като дори когато един от близнаците се оцени със значително по-лоша годност, близнаците все още оцеляват заедно между поколенията.

Важно е да се отбележи обаче, че използването на двойни хромозоми може да е свързано с допълнителни изчислителни разходи, тъй като операцията за инверсия трябва да се приложи към всеки бит в хромозомата. Освен това, използването на двойни хромозоми може да не е най-добрият избор за проблеми, които не се поддават добре на двоично кодиране.

След двоичното представяне на променливите тип `double` в `C/C++`, те могат да се използват като хромозоми в популацията на генетичния алгоритъм и могат да се приложат стандартни операции на генетичен алгоритъм като селекция, кръстосване, мутация и оценка [Mateeva G, et al, 2023].

Практическа имплементация: За практическото изпълнение е използвана библиотеката `openGA`, която е библиотека с генетичен алгоритъм с отворен код, написана на `C/C++`. Тя предоставя модулна архитектура, позволяваща избор на различни компоненти за селекция, кръстосване, мутация и оценка на годността.

Библиотеката включва различни вградени генетични оператори и поддържа двоично и кодиране на реални числа, което я прави гъвкава. Тя е междуплатформена,

което позволява изпълнение на различни операционни системи. При имплементацията на предложената модификация, кодирането за функцията за сравнение е с реални числа, но мутацията се извършва като двоични данни, докато кросоувърът се съхранява в домейна на реалните числа. Двоичните близнаци се представят в един двузначен масив, като допълнителната двойка се оценява, като се взема по-добрата годност на двата близнака [Mateeva G, et al, 2022].

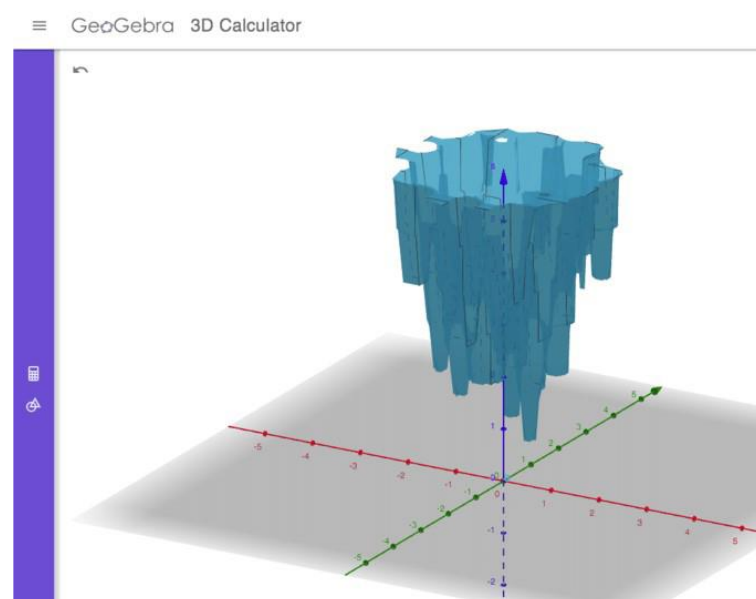
2.2.3. Експерименти и резултати

В настоящият дисертационен труд са представени експериментални резултати, валидиращи програмната имплементация на предложената ДНК-вдъхновена модификация на GA с помощта на добре познати бенчмарк функции за оптимизация.

За целите на експериментите е използвана функция, като бенчмарк функция [Balabanov, T. 2020]. Аналитичната форма на функцията е следната:

$$f(x) = n + \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sin(2\pi x_i) \right]$$

Където 'n' е размерността на пространството на променливите за решение, сумите се довеждат до горната им граница. В двумерната версия на бенчмарк функцията, повърхността на областта на оптимизация изглежда като показаната на Фигура 2.3.



Фигура 2.3. Двумерна версия

Повърхността има много плоски области и много локални оптимуми. Тези характеристики правят намирането на глобалния оптимум много трудно.

Програмната имплементация на предложената модификация (базирана на библиотеката с отворен код openGA) е валидирана с добре познати функции за оптимизация. C/C++ изходният код се изпълнява на мобилно устройство под linux дистрибуцията postmarket OS.

2.3. Приложение на GA в управление на информационни потоци при разпределени изчисления

2.3.1. Управление на информационни потоци в специфичен контекст на разпределени изчисления с GA

При управлението на информационни потоци в разпределени изчислителни системи с използване на GA, дисертационният труд предлага определена стратегия за оптимално управление на тези потоци.

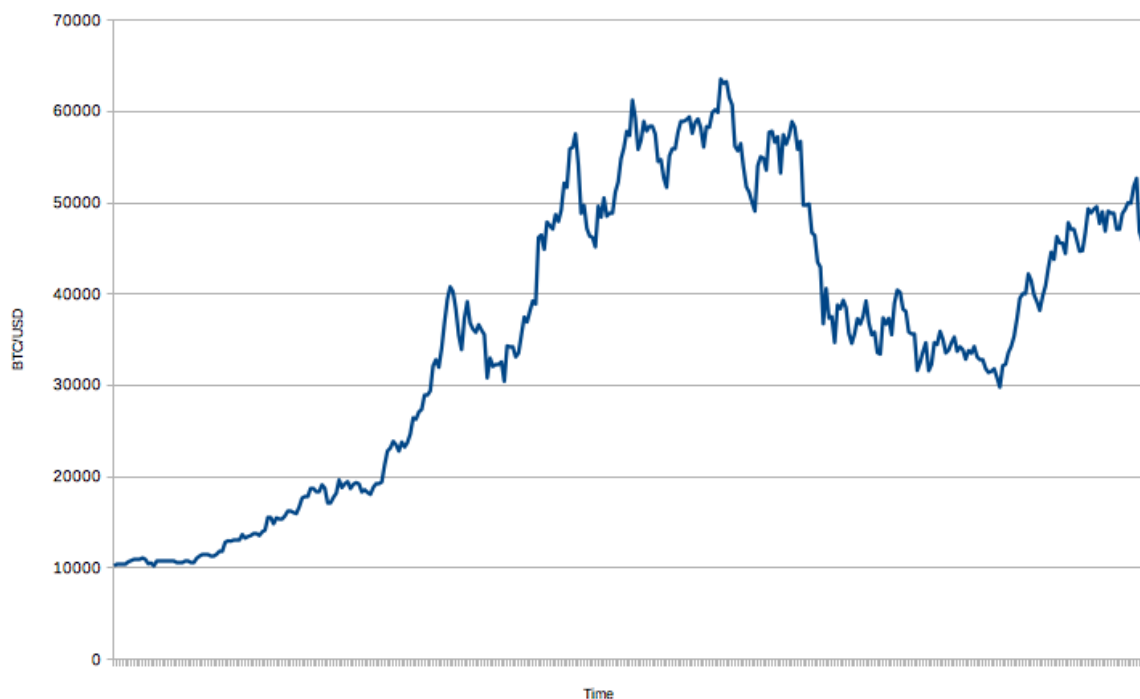
- Поток на данни от сървър към мобилни устройства: Информационни процеси на финансовите времеви редове се предоставят от отдалечен уеб сървър, към който мобилните устройства се свързват за получаване на данни за изчисления. Това представлява управление на потока от данни между централен сървър и разпределени възли.

- Управление на глобална и локални популации: Приложението поддържа глобална популация от решения, достъпна чрез сървъра, както и локални популации, управлявани от различни еволюционни алгоритми. Това включва организация и управление на информационни набори в разпределена среда.

- Разпределени изчисления без честа синхронизация: Архитектурата позволява локална еволюция на решенията за дълъг период от време без необходимост от честа синхронизация с централния сървър. Това е стратегия за оптимизиране на информационния обмен и намаляване на зависимостта между отделните изчислителни възли. Еволюционните алгоритми имат много висока степен на паралелизъм и много ниска нужда от синхронизация при разпределени изчисления, което ги прави идеални за тази цел.

- Модулна архитектура на мобилното приложение: Приложението е проектирано с модулна архитектура за максимална конфигурируемост. Това може да се разглежда като подход за структуриране на обработката на информацията в рамките на приложението [Mateeva G, et al, 2022].

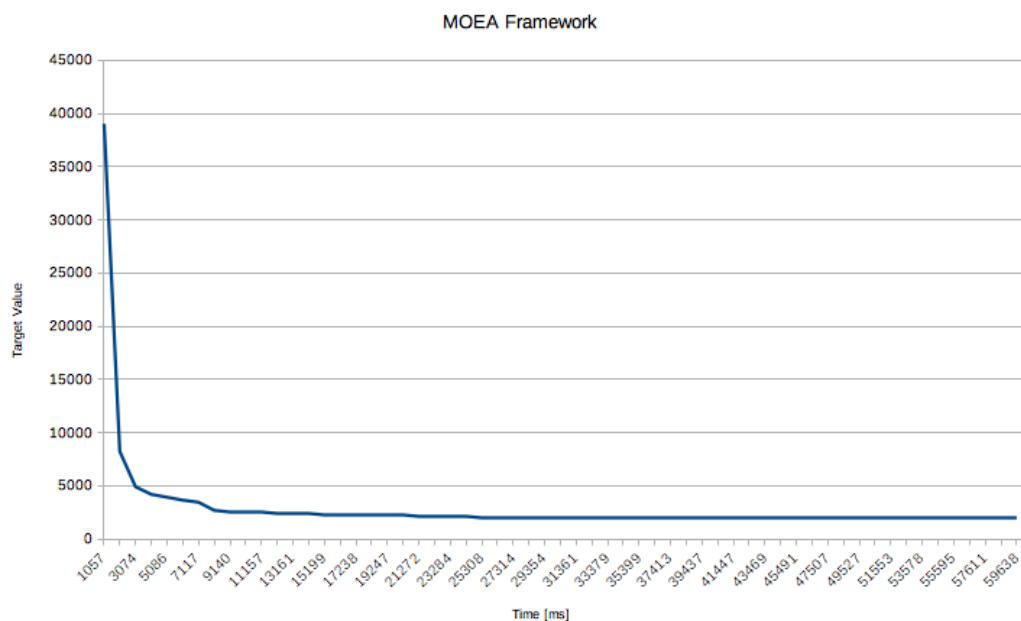
Данните, посочени във Фигура 2.4. служат като входна информация. Фигурата илюстрира потока на данни от отдалечен уеб сървър към мобилни устройства, които извършват изчисленията. Това е съществен елемент за управлението на информационни потоци в разпределени изчислителни среди.



Фигура 2.4. Данни за цената на Биткойн във формат на времеви редове

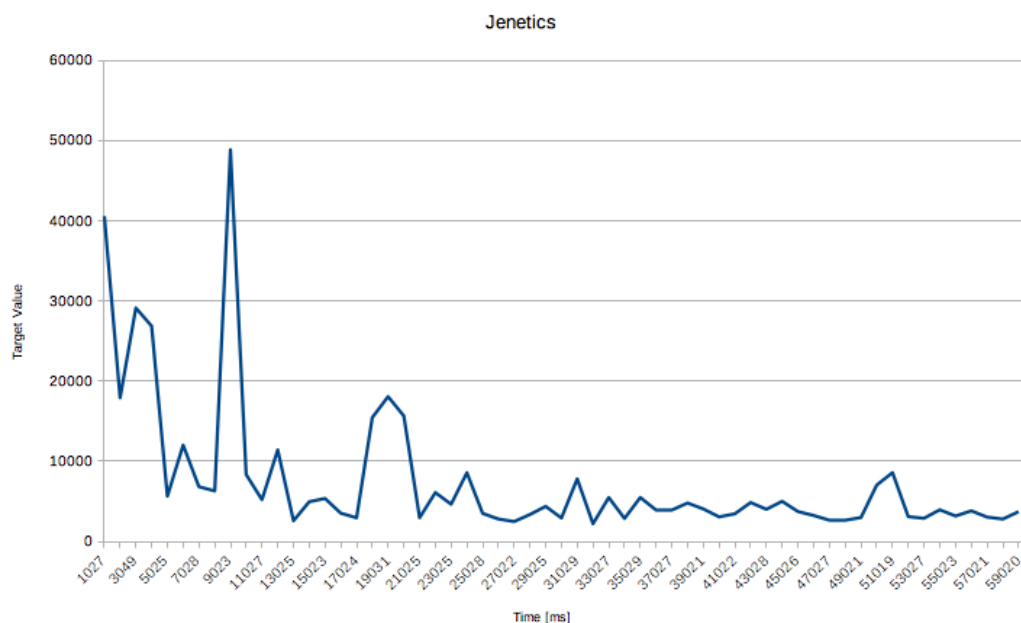
Алгоритмите, описани в дисертационния труд, са реализирани посредством MOEA Framework, която представлява свободно достъпна и с отворен код Java библиотека. Тя предоставя възможности за разработка и експериментиране с многоцелеви еволюционни алгоритми (MOEA) и други мета-евристични методи.

Фигура 2.5. е важна за оценяване на ефективността и скоростта, с която оптимизационните алгоритми се приближават към оптималното решение.



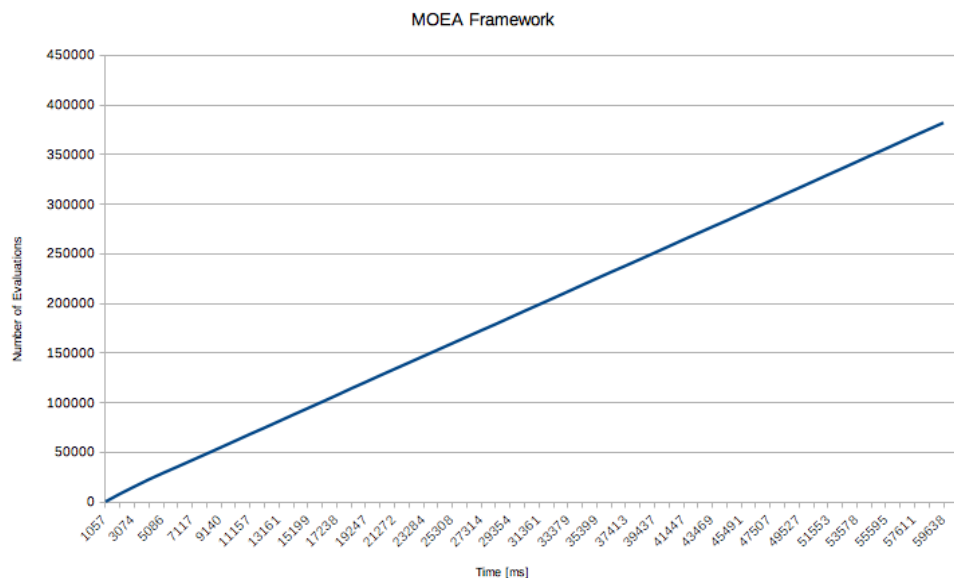
Фигура 2.5. Конвергенцията на алгоритми, реализирани чрез MOEA Framework

Визуализацията на конвергенцията (Фигура 2.6.) е критичен показател за стабилността и производителността на тези оптимизационни методи.



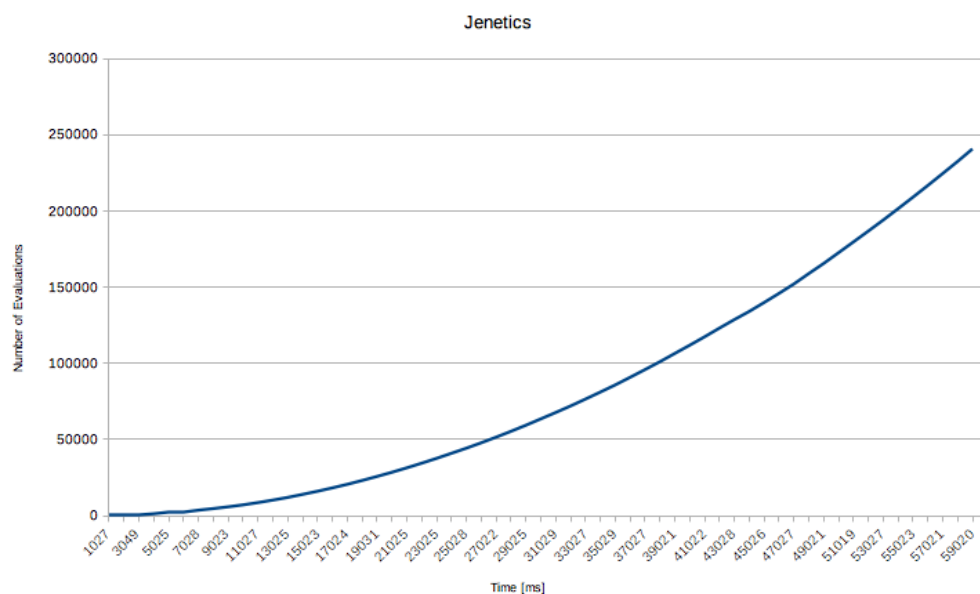
Фигура 2.6. Конвергенцията на GA

Във Фигура 2.7. се предоставя количествена мярка за изчислителната ефективност на алгоритъма, особено важна при времеемки целеви функции.



Фигура 2.7. Броя на извикванията на целевата функция в MOEA Framework

Следващата Фигура 2.8. допълва анализа на производителността, като дава директна оценка на изчислителните разходи и позволява сравнение между различни подходи или реализации на GA.



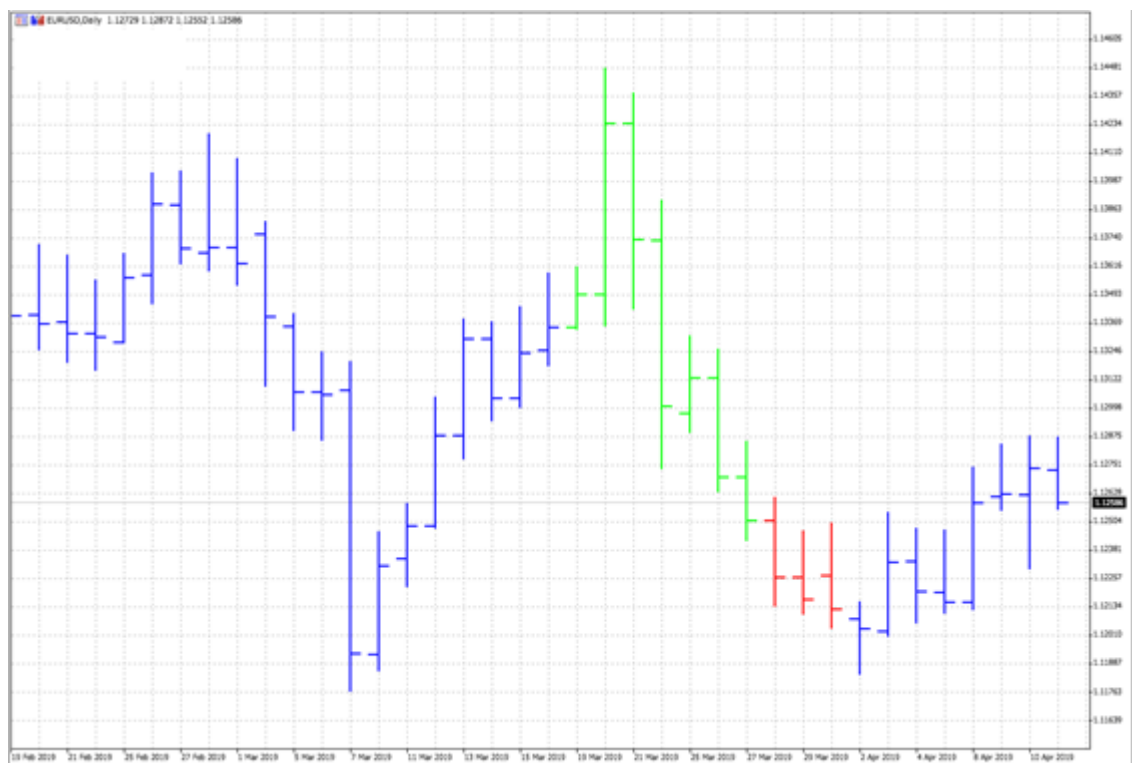
Фигура 2.8. Брой на извикванията на целевата функция за GA в Jenetics

Библиотеката Jenetics е конструирана с ясно разграничение на основните концепции в генетичния алгоритъм, включително ген, хромозома, генотип, фенотип, популация и фитнес функция. Тя позволява оптимизация чрез минимизиране или

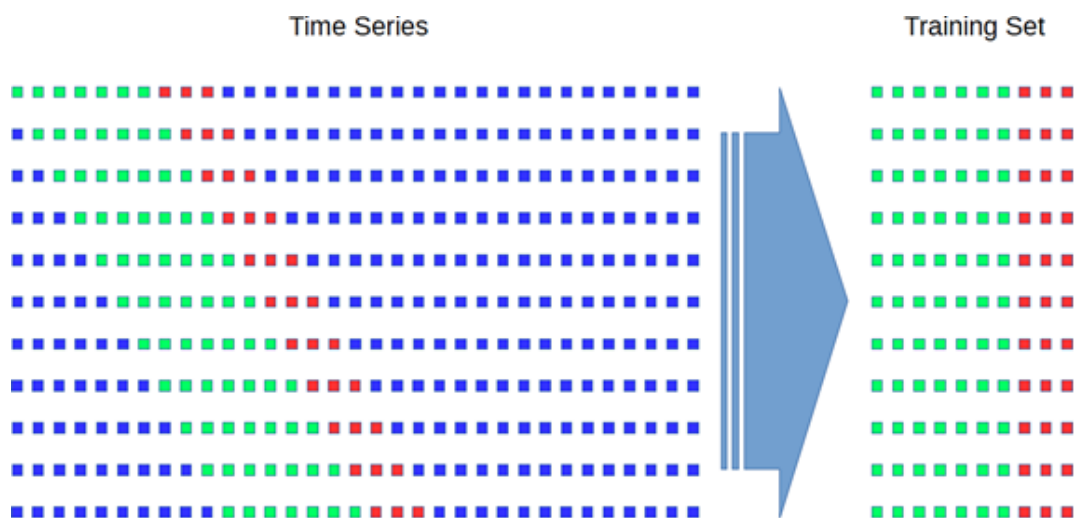
максимизиране на фитнес функцията без необходимост от нейното модифициране, като използва концепцията за еволюционен поток (Evolution Stream), който имплементира Java Stream интерфейса и осигурява безпроблемна интеграция с Java Stream API. Тези елементи засягат управлението на данни и информация в контекста на разпределени GA за прогнозиране на финансови времеви редове, те не представляват общо разглеждане на принципи и методи за управление на информационни потоци [Mateeva G, et al, 2021].

2.3.2. Прогнозиране на финансови времеви серии чрез GA

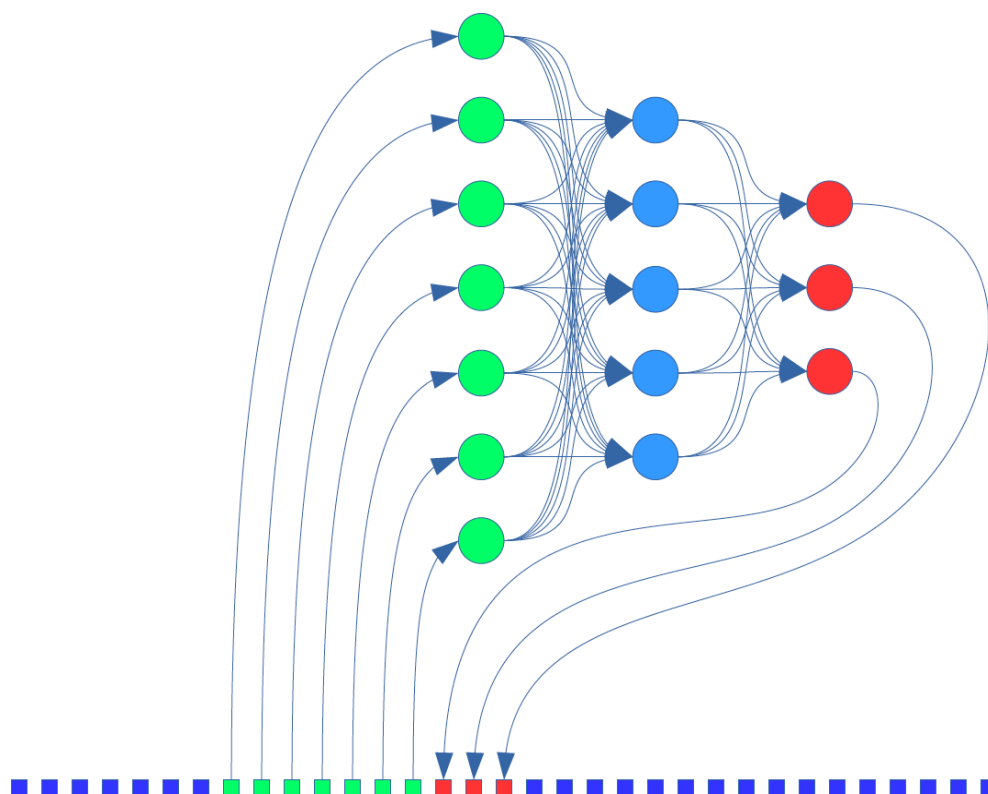
Прилагането на GA за прогнозиране на финансови времеви редове (Фигура 2.9) в контекста на разпределени изчисления включва използването на градиентни методи за обучение (Фигура 2.10) на изкуствени невронни мрежи (ИНМ) (Фигура 2.11) и еволюционни алгоритми. За осъществяване на изчисленията във фонов режим се използват услугите на операционната система Android, а възможностите на Android Live Wallpaper се прилагат за визуализация на междинните резултати.



Фигура 2.9. Времеви редове



Фигура 2.10. Формиране на тренировъчен набор



Фигура 2.11. Подаване на данни от изкуствена невронна мрежа

За количествена оценка на ефективността и предиктивната производителност на алгоритмите за оптимизация, както и на моделите, които те създават, се използват стандартни метрики като средна абсолютна грешка (MAE) и средноквадратична

грешка (RMSE). Тези метрики позволяват строга оценка на отклонението между прогнозираните и действителните стойности.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (y_{i,predict} - y_{i,true})^2}{L}}$$

$$MAE = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |y_{i,predict} - y_{i,true}|$$

Прилагането на тези метрики е показано в контекста на оценката на оптимизационни методи. По този начин, те осигуряват надеждна основа за сравнение на различни оптимизационни подходи и тяхната приложимост [Xujie Tan et al, 2023].

Системата за мобилни разпределени изчисления, разработена в настоящия дисертационен труд, е организирана съгласно клиент-сървърна модулна софтуерна архитектура. Всички основни изчисления се изпълняват в специализиран изчислителен модул. Времевите серии данни се предоставят от лек отдалечен уеб сървър, който също така поддържа глобална популация от решения. Мобилните устройства (клиенти) се свързват със сървъра посредством RESTful комуникация, използвайки HTTP/JSON протокол, за да заявяват и получават изчислителни пакети.

Както глобалната, така и локалните популации представляват подгрупи от матрици на теглото на изкуствените невронни мрежи. Локалните популации се управляват от различни еволюционни алгоритми, включително GA. Изчисляването на стойността на пригодност (fitness value) за всеки индивид се извършва чрез зареждане на индивида в структурата на изкуствена невронна мрежа. Този процес е времеемък, тъй като ИНМ трябва да обработи всички входно-изходни примери, за да изчисли средноквадратичната грешка (RMSE).

В допълнение към използването на изкуствени невронни мрежи, втори подход за прогнозиране на финансови времеви редове е базиран на апроксимация на крива чрез синусоидални редове. Финансовите времеви редове често проявяват множество флуктуации, което ги прави подходящи за апроксимация с поредица от синусоидални функции. Тъй като във финансовите времеви редове рядко липсва тенденция,

възходящата или низходящата тенденция се апроксимира с уравнение на линия. Параметрите на линията – наклон (В) и пресечна точка (С) – се определят с методи като линейна регресия.

Апроксимационното уравнение:

$$y(t) = Bt + C + A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + \dots$$

съдържа множество коефициенти, където В и С определят линейната функция, а A_i , ω_i и φ_i представляват съответно амплитудата, ъгловата скорост и фазовото изместване на синусоидалните функции. Сумата от синусовите функции приблизително съответства на флуктуациите във финансовия ред. Генетичен алгоритъм се прилага за търсене на почти оптимални решения за тези коефициенти. Хромозомите в алгоритъма се състоят от два коефициента за линейната функция и три коефициента за всяка синусова функция. Целта на оптимизацията е получената крива да бъде максимално близка до оригиналните данни [Mateeva G, et al, 2022].

2.3.3. Вътрешни стратегии за управление на информацията в генетични алгоритми в дигитална среда чрез апроксимация на целева функция

Генетичните алгоритми работят чрез итеративно генериране и оценяване на популация от кандидат-решения, като изчисляването на стойността на годност (fitness value) за всеки индивид. Представлява ключов информационен процес, който направлява еволюцията на алгоритъма. В задачите за оптимизация фитнес функцията обикновено се оптимизира (максимизира) и се нарича целева функция. Целевата функция е математически израз, който присвоява числова оценка на всяко възможно решение, генерирано от GA. Тя е дефинирана от потребителя целева функция, която измерва качеството на дадено решение по отношение на целите за оптимизация. При задачите за минимизиране целевата функция се трансформира и проблемът се свежда до максимизиране [Mateeva, G et al, 2022]. В теорията на управление тя може да приеме формата на функция на грешката, а в теорията на игрите – функция на разходите. При всяка итерация на генетичния алгоритъм годността на всеки индивид в дадена популация се оценява с помощта на функцията за годност, и въз основа на тази оценка се създава следващата популация, която съставлява набора от потенциални решения.

Когато обаче времеемките целеви функции, които измерват качеството на решенията, отнемат твърде много време, ефективността на генетичните алгоритми спада драстично. Това представлява съществено предизвикателство, особено в дигитални среди с големи обеми от данни или сложни изчисления, където времето е критичен фактор.

За да се преодолее това ограничение и да се подобри скоростта на оптимизационния процес, предлаганата апроксимация на тези функции е разгледана като стратегия за по-ефективно управление на информационния поток. Това решение включва замяна на времеемката целева функция с апроксимационна функция, базирана на напасване на крива, като например полиноми на Лагранж. Подобрената производителност при обработка на информация чрез апроксимация е насочена към намаляване на броя на скъпите взаимодействия и ускоряване на процеса на оптимизация.

Полиномът на Лагранж е много добре установен инструмент за математическа интерполация. Това е специфичен полином с най-ниска възможна степен, който е способен да интерполира даден набор от известни точки. Точките се вдвояват в 2D евклидово пространство като (x_i, y_i) . За k точки полиномът има степен, по-малка или равна на k . Много често срещана характеристика на полинома на Лагранж е, че е уникален. Когато се конструира полином на Лагранж, трябва да се направи компромис между по-добро напасване и по-плавна функция на напасване. С увеличаването на броя на известните точки степента на полинома се повишава. Увеличаването на степента на полинома води до по-високи осцилации и по-малко плавна интерполация. Полиномите на Лагранж с по-високи степени са по-малко приложими за предсказващи функции.

Въпреки че изчисляването на оригиналната функция на годност не може да бъде избегнато, могат да се търсят възможности за намаляване на броя на нейните изчисления. В настоящото изследване е предложено апроксимиране на функцията за годност с полином на Лагранж. За всяко от измеренията на търсеното многомерно пространство се изчисляват коефициентите за отделен полином на Лагранж. При n -мерно пространство за търсене ще има n полинома на Лагранж. Средната стойност на всички тези функции на Лагранж ще се използва като стойност за годност.

Процесът на апроксимация започва с няколко изчисления на оригиналната функция за годност. Тези няколко изчисления установяват началния набор от най-добри намерени решения. Размерът на набора дава броя на точките, използвани за изчисляване на полиномите на Лагранж. Същият размер определя максималната степен на полинома. Както е добре известно, по-високата степен на полинома води до повече осцилации в интерполиращата крива. Поради тази причина размерът на набора от най-добре намерени решения е самонастройващ се параметър. Времето за намиране на по-добро решение за включване на набора се използва като критерий за самонастройване. По-малко време означава по-добра апроксимация.

Решенията, оценени като по-добри от приблизителната функция за годност, не са гарантирано по-добри от оригиналната функция за годност. Поради тази причина всяко решение, което има стойност за годност, получена чрез приближението, по-добра от всички други известни решения, също се оценява с оригиналната функция за годност. Когато се намери ново най-добро, според оригиналната функция за годност, решение, то влиза в пула от точки за изчисляване на полиномията на Лагранж. С добавянето на ново решение към пула, най-лошото се премахва от него. Предложеното приближение значително ускорява процеса на оценяване на индивиди в популация, базирана на генетичен алгоритъм при решаване на проблеми, за които изчисляването на функцията отнема часове или дни за едно изчисление. Това прави възможно прилагането на метаевристики за глобална оптимизация в области, където те изобщо не биха били приложими, поради отнемащата време оценка на междинно изчисляване на решения [Mateeva G, et al, 2022].

2.3.4. Експерименти и резултати

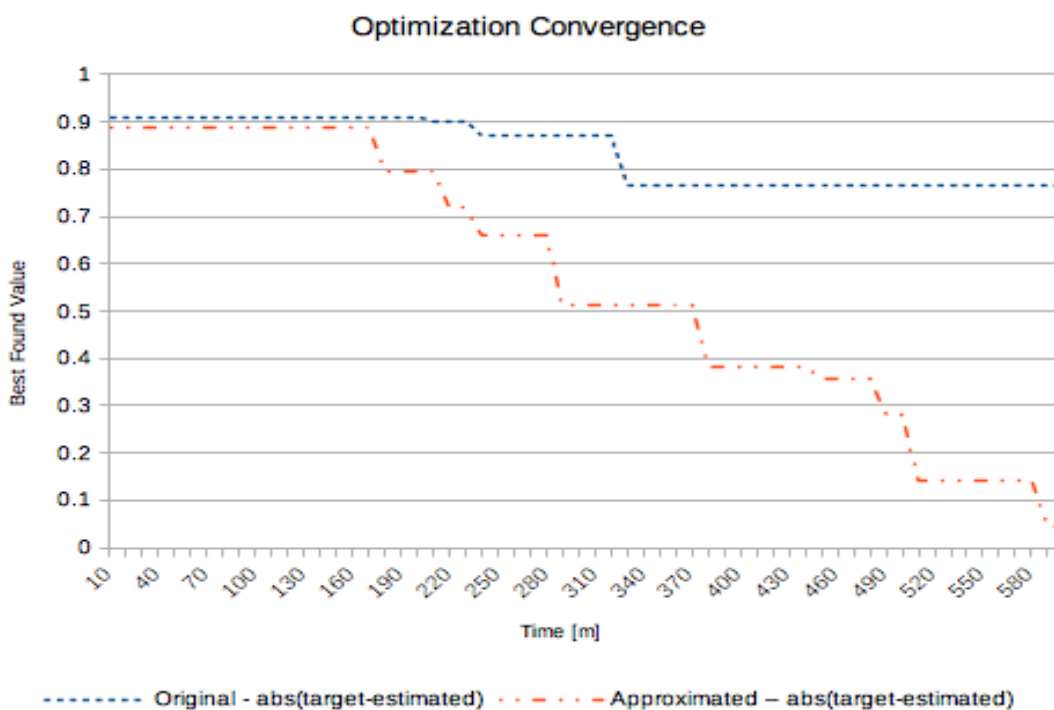
Проведени са три отделни експеримента. Редовен генетичен алгоритъм е проведен срещу генетичен алгоритъм с апроксимирана функция за годност.

Фигури 2.12, 2.13 и 2.14 онагледяват резултатите от експерименти, демонстриращи приложението на тези стратегии за управление на информацията в конкретни дигитални среди. По-конкретно, тези експерименти са проведени в контекста на оптимизация в игров контекст, което служи като пример за информационни процеси в дигитална развлекателна система, целяща постигането на определен RTP чрез подреждане на символи. Въпреки че фокусът е върху

оптимизацията, това показва как генетичните алгоритми и свързаните с тях стратегии за управление на информация могат да бъдат приложени в конкретни дигитални среди с ясни цели и метрики.

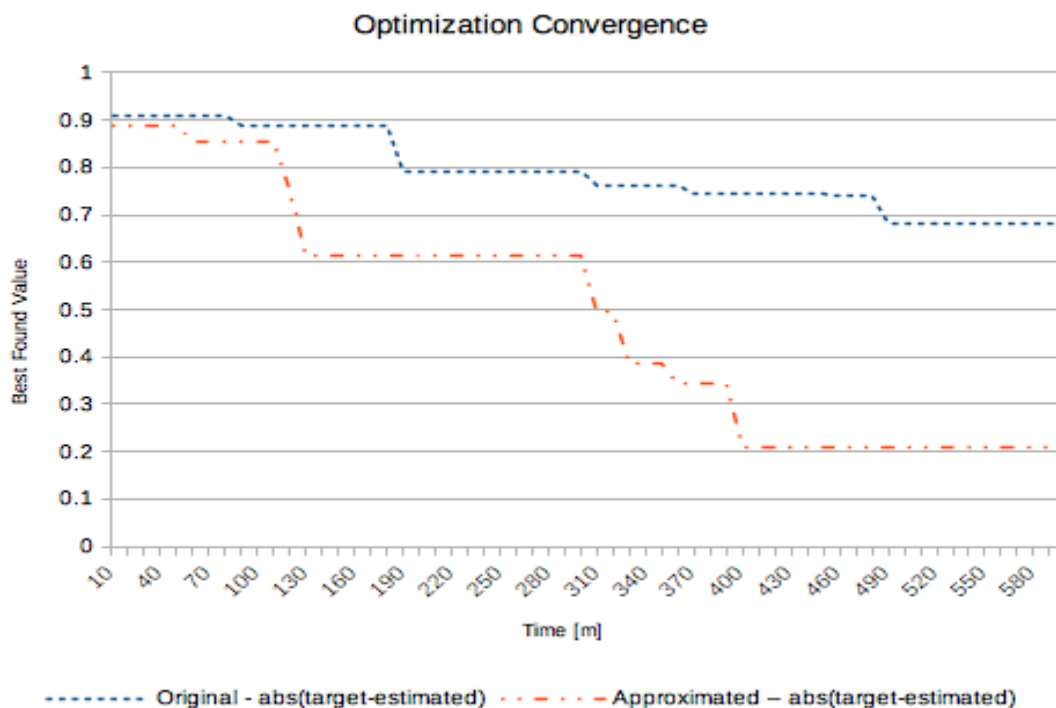
Постигнатите резултати са близки, но апроксимираната функция за годност показва подобрения в процеса на оптимизация.

- Първи експеримент: апроксимираната функция за годност има предимство почти в края на процеса на оптимизация.



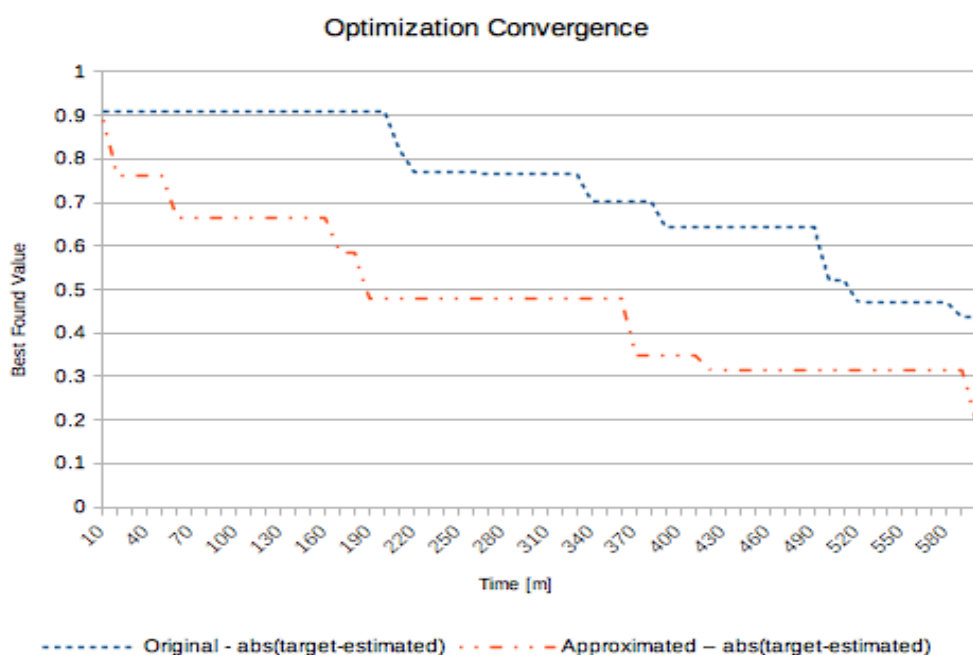
Фигура 2.12. Първи експеримент

- Втори експеримент: апроксимираната функция за годност има предимство в средата на процеса на оптимизация.



Фигура 2.13. Втори експеримент

• Трети експеримент: Двете криви на конвергенция са почти успоредни, което показва, че има ситуации, в които апроксимираната функция на годност няма значително предимство.



Фигура 2.14. Трети експеримент

При решаването на проблеми с оптимизация, където целевата функция е времеемка, се предлага апроксимация на функцията на годност. В този случай стратегиите за комуникация следва да бъдат насочени към намаляване на броя на скъпо струващи взаимодействия, като се използват апроксимации или други методи за ускоряване на процеса.

2.4. Изследване на статистически свойства при оптимизация: Качество на данни и мащабиране на случайни числа

Важността на качеството на данните е разгледано в Глава 1, където е отбелязано все по-голямото му значение в моделиране на процеси с контекстно-специфично определение и разбиране на качеството на данните.

Генерирането на случайни числа се отнася до създаването на поредица от числа, които показват случайност или нямат никакъв забележим модел или предсказуемост. Тези числа обикновено се генерират от алгоритми или физически процеси, известни като генератори на случайни числа (RNG). Генерираните случайни числа рядко се използват в суров вид. В повечето случаи се прилага известно мащабиране или картографиране. Такива трансформации могат да повлияят на однородността, разпределението и статистическите свойства на генерираните случайни числа. Ако процесът на мащабиране се извършва неправилно или въвежда пристрастия, той може да компромира случайността и качеството на числата [Mateeva G, et al, 2023].

Генетичните алгоритми (ГА) разчитат в голяма степен на генератори на псевдослучайни числа (ГПСЧ) за различни операции като селекция, кръстосване и мутация. Тези случайни числа са от решаващо значение за въвеждане на разнообразие и изследване в процеса на търсене, позволявайки на алгоритъма да премине отвъд локалните оптимуми и потенциално да намери по-добри решения. Въпреки че изборът на ГПСЧ може да изглежда незначителен, проучванията показват, че различните ГПСЧ могат да повлияят на производителността на ГА, понякога дори да водят до неочаквани подобрения с „по-лоши“ генератори.

2.4.1. Генериране и мащабиране на случайни числа

Процесът на генериране на случайни числа включва два често срещани подхода:

- Псевдогенератори на случайни числа (PRNG -ПГСЧ): PRNG ПГСЧ използват детерминистични алгоритми за генериране на поредици от числа, които притежават статистически свойства, наподобяващи истинска случайност. Те изискват начален елемент и използват математически операции за генериране на последващи числа. ПГСЧ могат да повтарят поредиците си след определен период, известен като дължина на периода. Широко известните ПГСЧ алгоритми включват Mersenne Twister (Matsumoto and Nishimura 1998) и Linear Congruential Generator (L'Ecuyer 1999). Mersenne Twister е известен с дългия си период и отлични статистически свойства.

- Истински генератори на случайни числа (ГСЧ): TRNG генерират случайни числа, използвайки физически процеси, които са по своята същност непредсказуеми. Те разчитат на външни източници на ентропия, като атмосферен шум, радиоактивен разпад или електронен шум. TrueRNG v3 използва хардуерен дизайн, който улавя атмосферния шум с помощта на лавинен диод. TRNG осигуряват по-високо ниво на случайност от PRNG, но може да изискват специализиран хардуер или сензори за улавяне на случайните източници.

2.4.2. Техники за мащабиране на случайни числа

Мащабиране (претегляне, измерване на качество) на случайни числа: Мащабирането на сурови случайни числа включва трансформиране на генерираните числа от първоначалния им диапазон в различен диапазон или коригиране на техните свойства според специфични изисквания. Някои широко използвани техники за мащабиране са:

- Линеино мащабиране: Включва картографиране на суровите случайни числа в желанния диапазон с помощта на линейни трансформации.

- Нелинейно мащабиране: Включва прилагане на математически функции или трансформации към суровите случайни числа, за да се промени тяхното разпределение или свойства.

- **Мащабиране за специфични цели:** В определени случаи мащабирането може да се изпълни, за да се отговорят на специфични изисквания или ограничения (напр. в криптографията).

Избраната техника за мащабиране зависи от желаните свойства и диапазон на мащабираните числа. Важно е да се гарантира, че процесът на мащабиране не въвежда отклонение, корелация или други артефакти, които биха могли да компрометират случайността или статистическите свойства на случайните числа.

2.4.3. Статистически инструменти и експерименти

Инструментът „ent“ е софтуерен пакет, предназначен за оценка на ентропията на файлове и поредици от байтове. Той обикновено се използва за анализ на случайността и информационното съдържание на данните, включително поредици от случайни числа. Пакетът „ent“ предоставя инструмент от командния ред, наречен „ent“, който изчислява различни статистически мерки за случайност и ентропия.

Инструментът „ent“ измерва пет статистически параметъра:

- **Ентропия:** Измерва случайността или непредсказуемостта на поредица от байтове. Тя определя количеството информация, съдържаща се в данните. В контекста на генераторите на случайни числа, по-високата ентропия показва по-случайна и по-малко предсказуема поредица от числа.

- **Хи-квадрат тест:** Използва се, за да се определи дали има значителна разлика между очакваното разпределение на данните и наблюдаваното разпределение. В контекста на "ent" той оценява дали стойностите на байтовете във входните данни следват равномерно разпределение или показват някакви отклонения или модели.

- **Средноаритметична стойност:** Средната стойност на набор от числа. В случай на "ent", тя изчислява средната стойност на байтовите стойности във входните данни.

- **Стойност на Монте Карло за P_i :** Методът Монте Карло е статистическа техника, която използва случайна извадка за оценка на числени резултати. Инструментът "ent" използва този метод, за да оцени стойността на P_i (π) чрез генериране на случайни точки в единичния квадрат и преброяване на съотношението

на точките, попадащи в единичния кръг. Оценената стойност на P_i може да покаже случайността на входните данни.

- Коефициент на серийна корелация: Отнася се до корелацията или зависимостта между последователни стойности в последователност. Стойност близка до нула предполага липса на значителна корелация.

Тези параметри предоставят информация за случайността, разпределението и статистическите свойства на входните данни.

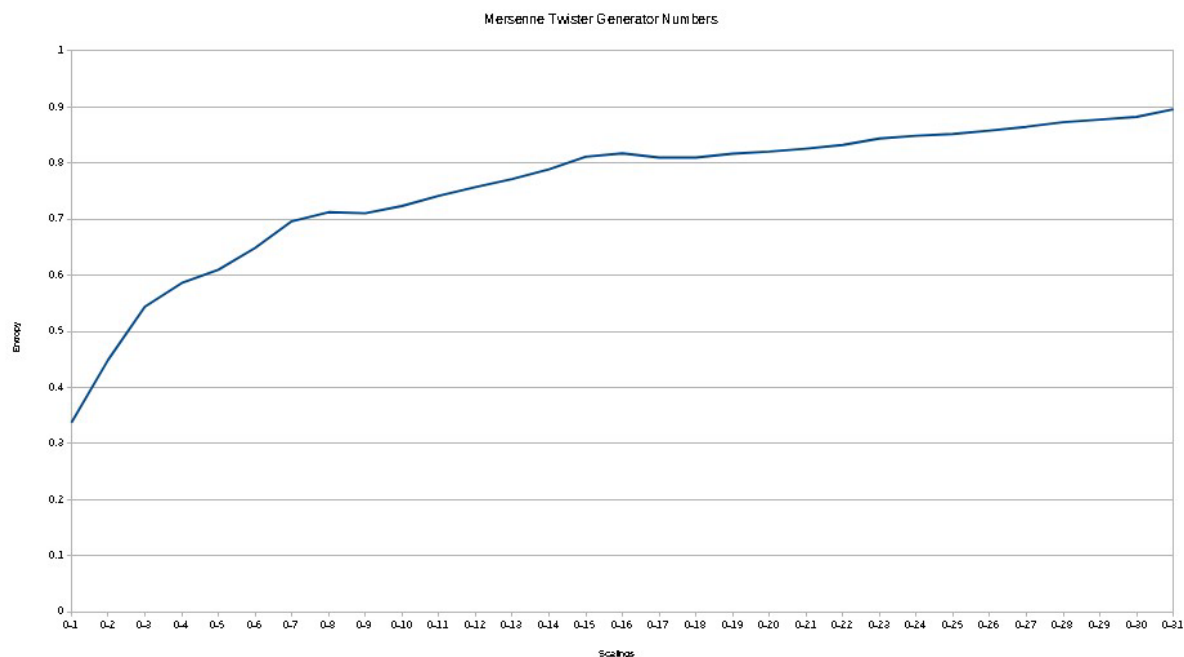
2.4.4. Експерименти и резултати

Експерименталните данни (по 1MB) са генерирани от два източника: имплементацията на Mersenne Twister в библиотеката NumPy и хардуерния генератор TrueRNG v3. Целта е да се наблюдава как мащабирането на сурови случайни числа влияе върху истинските случайни числа и псевдослучайните числа. Суровите данни са мащабирани от диапазони от 0-1 до 0-32 (широко използвани в хазартната индустрия).

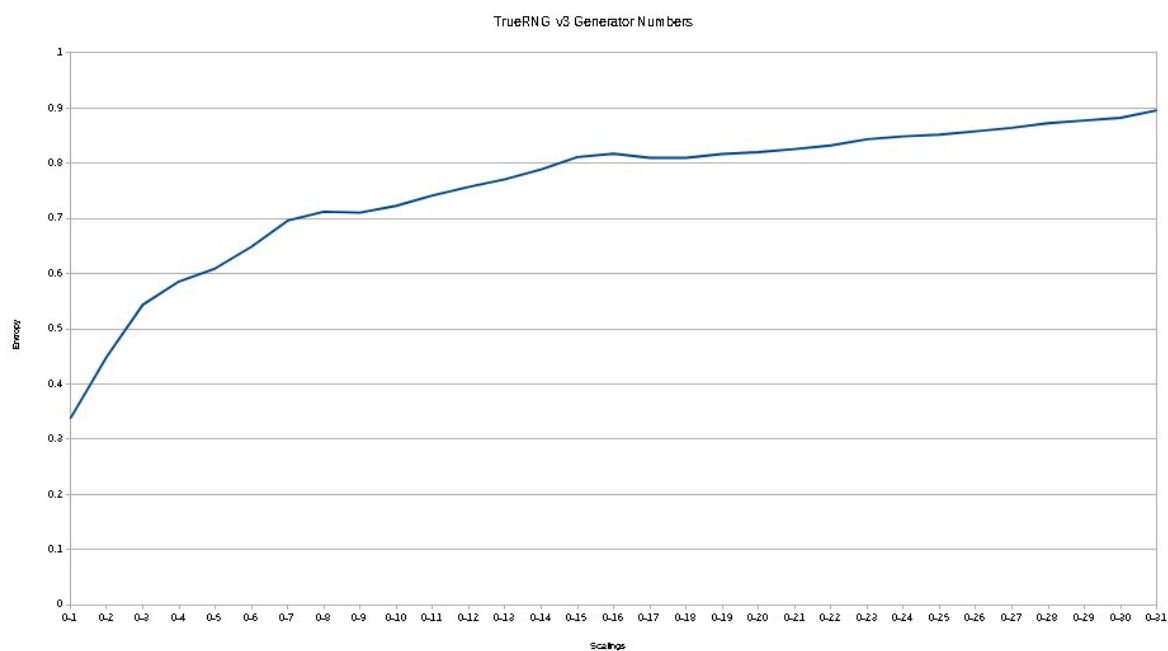
Експерименталните резултати ясно показват, че операциите по мащабиране не влияят драстично върху статистическите характеристики на псевдослучайните числа.

Суровите данни са мащабирани от диапазони от 0-1 до 0-32. Тези диапазони са много широко използвани в хазартната индустрия. След операцията за мащабиране се изпълнява инструментът "ent" и измерените параметри се записват.

Фигури 2.15 и 2.16 показват ентропията (мярка за случайност) на генерирани числа от Mersenne Twister (псевдогенератор) и TrueRNG v3 (истински генератор) при различни диапазони на мащабиране.

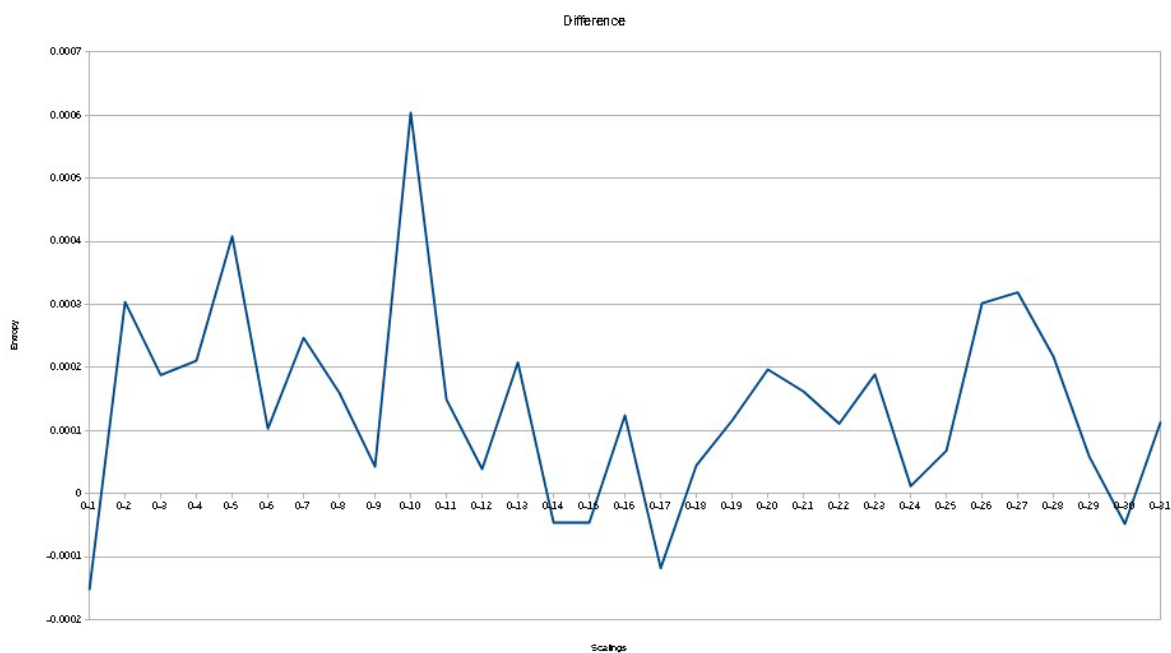


Фигура 2.15. Ентропия на Mersenne Twister



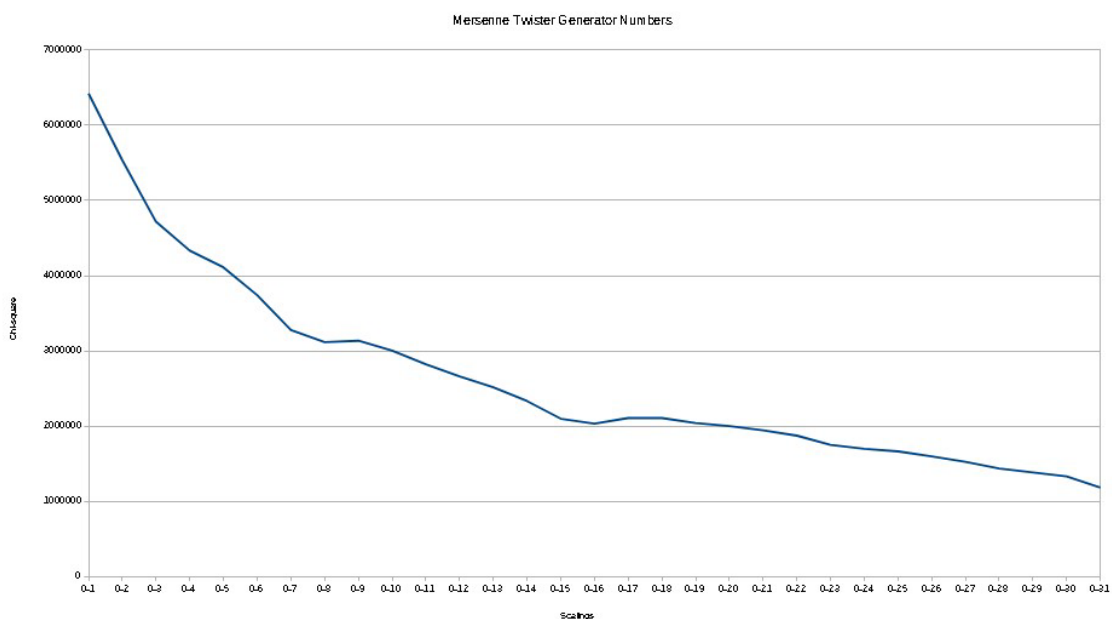
Фигура 2.16. Ентропия на TrueRNG v3

Фигура 2.17. сравнява разликата в ентропията между Mersenne Twister и TrueRNG v3 след мащабиране, показвайки отклоненията в тяхната случайност.

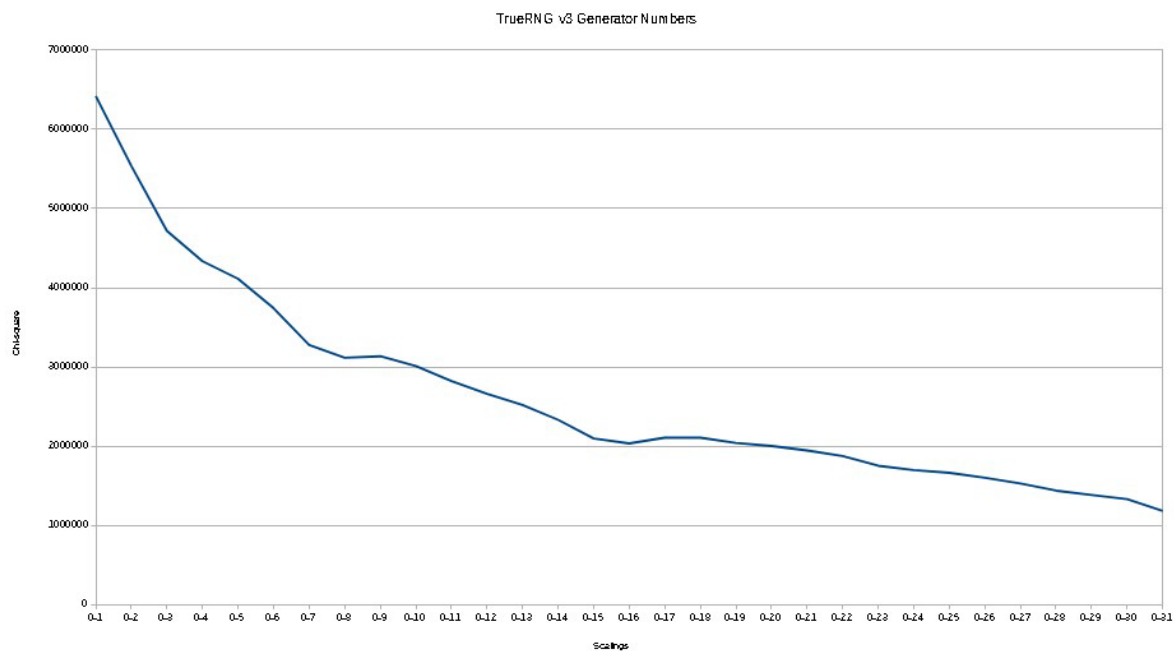


Фигура 2.17. Разлика в ентропията

Фигури 2.18 и 2.19 представят стойностите на Хи-квадрат теста за псевдослучайни числа от Mersenne Twister и за истински случайни числа от TrueRNG v3 съответно, при различни диапазони на мащабиране.

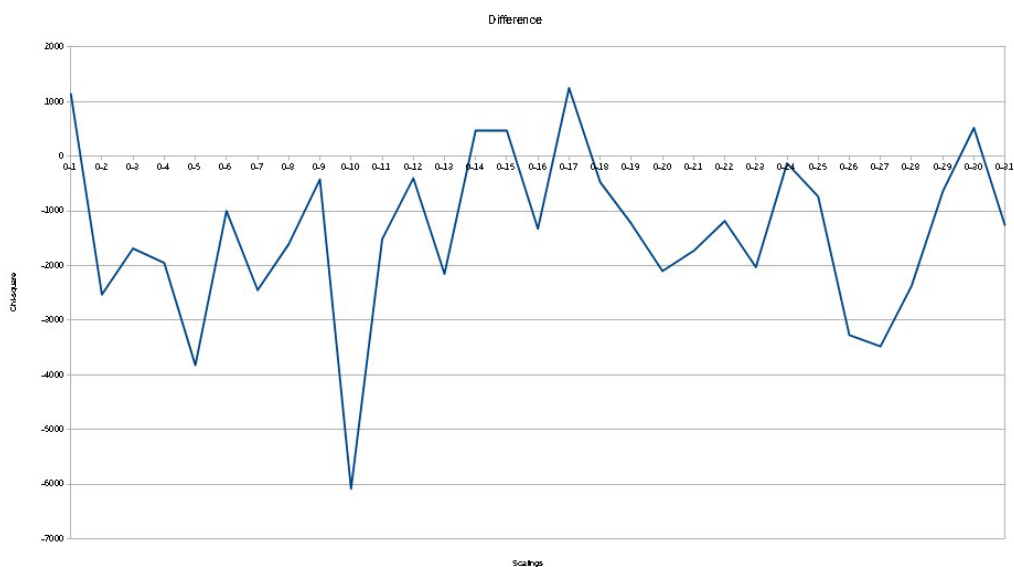


Фигура 2.18. Хи-квадрат на Mersenne Twister



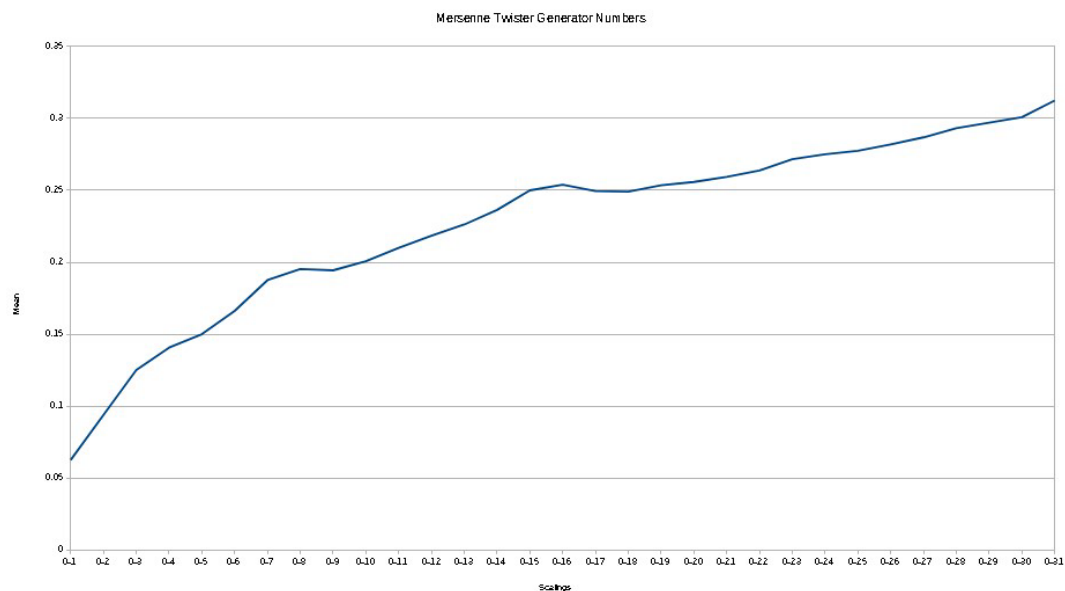
Фигура 2.19. Хи-квадрат на TrueRNG v3

Фигура 2.20. показва разликата в Хи-квадрат стойностите между Mersenne Twister и TrueRNG v3 след мащабиране, разкривайки въздействието на мащабирането върху равномерността на разпределението им

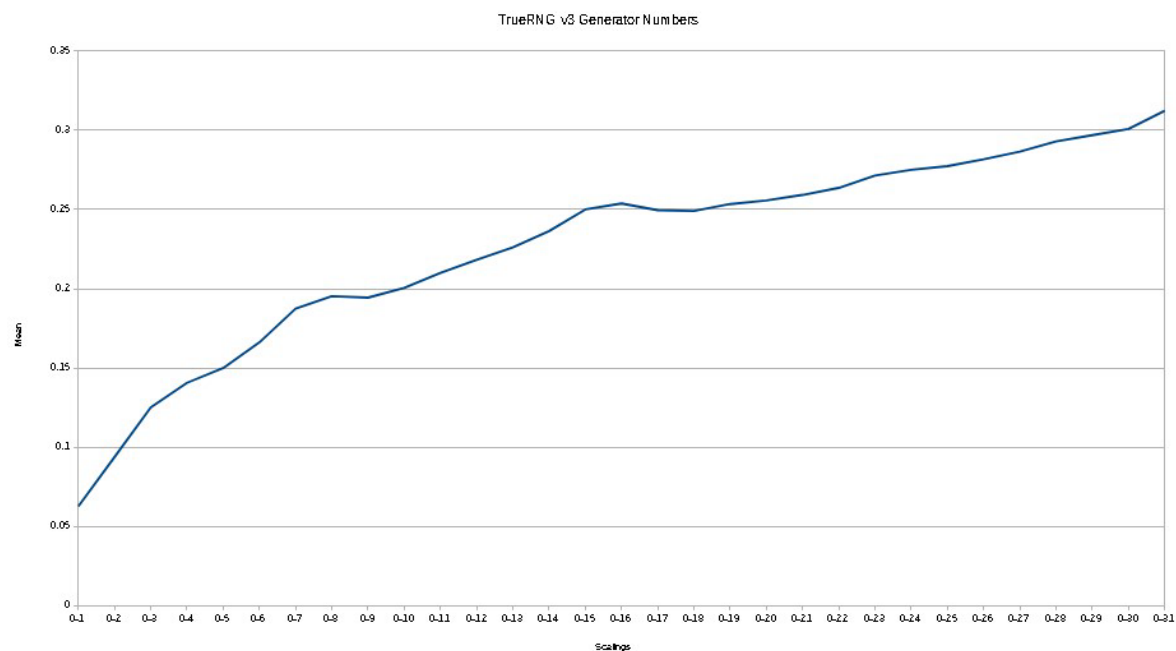


Фигура 2.20. Разлика в хи-квадрата

Фигури 2.21 и 2.22 изобразяват средноаритметичната стойност на генерираните числа от Mersenne Twister (псевдогенератор) и TrueRNG v3 (истински генератор) при прилагане на различни диапазони на мащабиране.

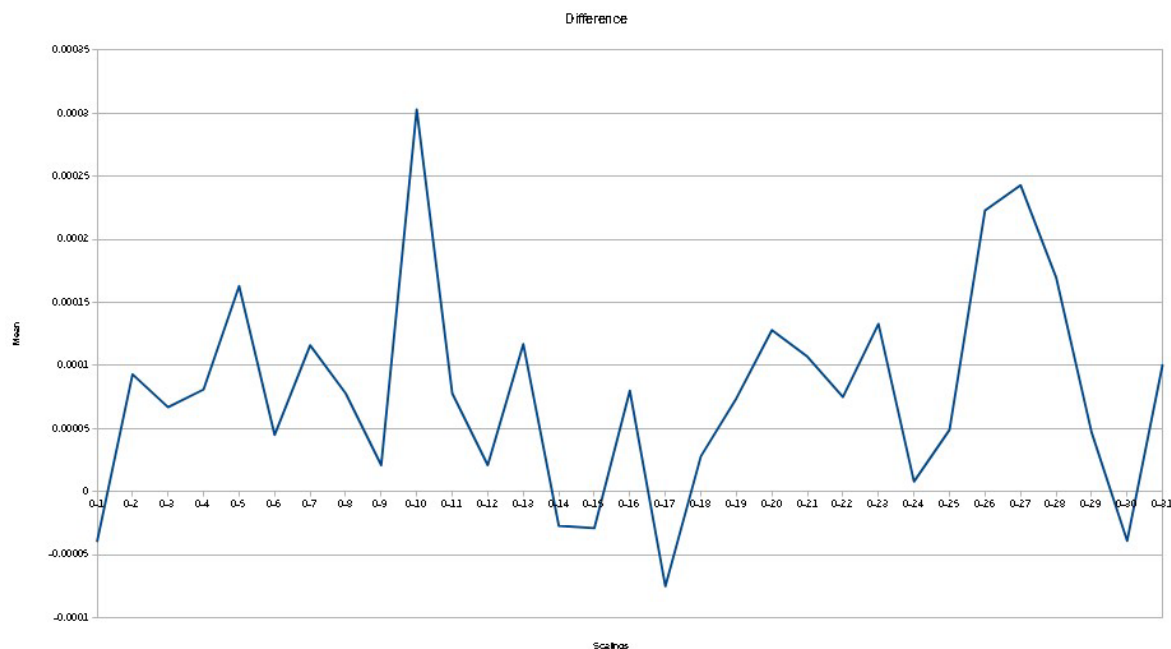


Фигура 2.21. Средна стойност на Mersenne Twister



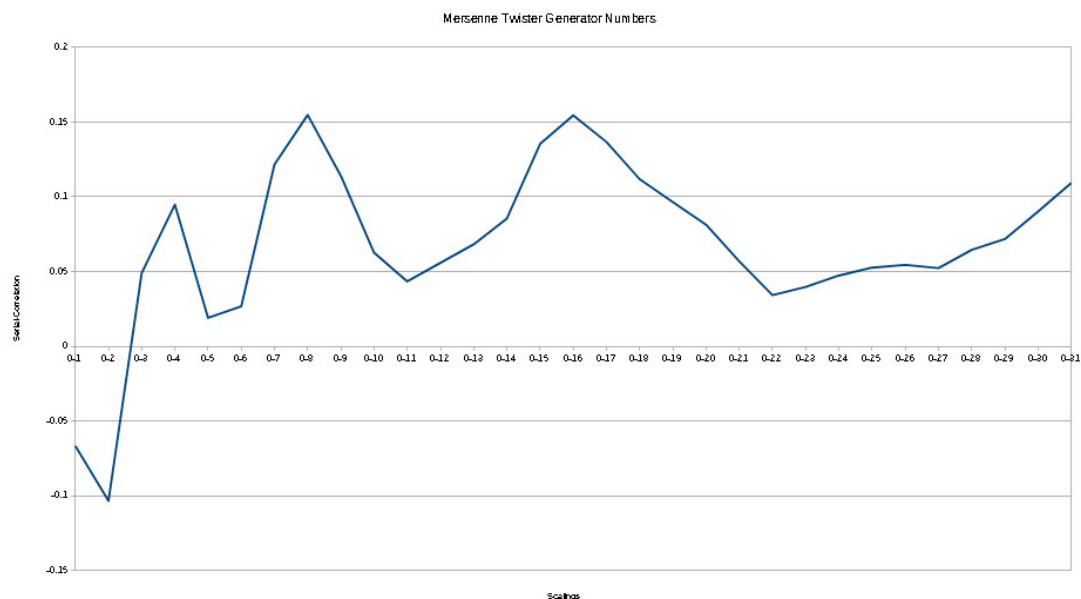
Фигура 2.22. Средна стойност на TrueRNG v3

Фигура 2.23. показва разликата в средната стойност между Mersenne Twister и TrueRNG v3 след мащабиране, подчертавайки отклоненията в централната тенденция на двата типа генератори.

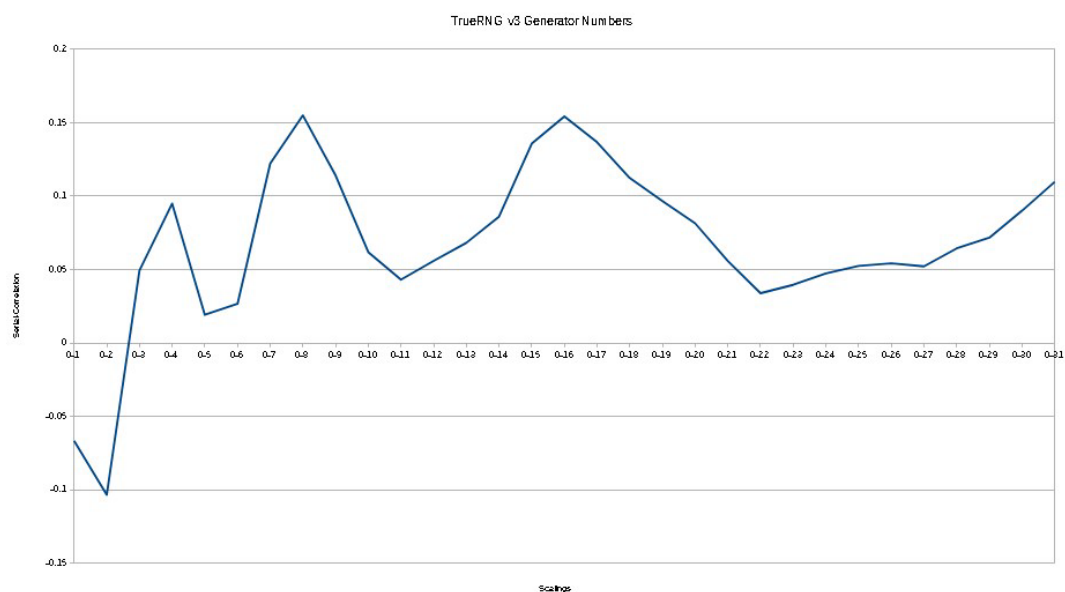


Фигура 2.23. Разлика в средната стойност

Фигури 2.24 и 2.25 илюстрират коефициента на серийна корелация (мярка за зависимостта между последователни стойности) на генерираните числа от Mersenne Twister (псевдогенератор) и TrueRNG v3 (истински генератор), съответно. Тези графики показват как серийната корелация се променя в зависимост от диапазоните на мащабиране, което е ключово за оценяване на независимостта на последователните числа и липсата на предсказуеми зависимости.

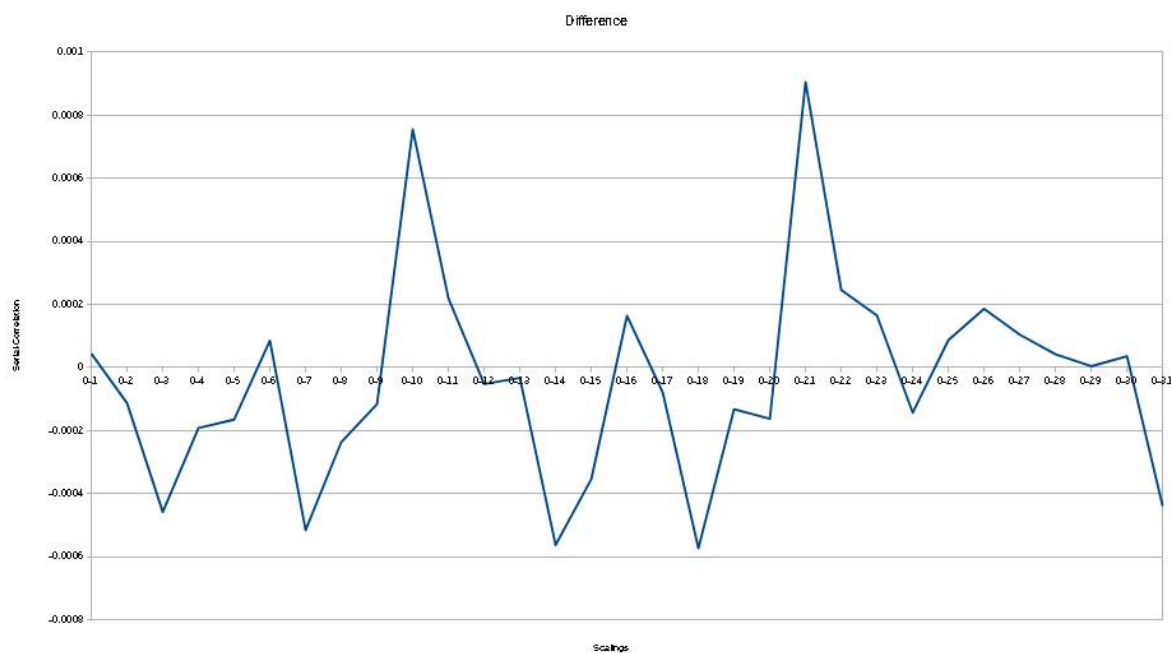


Фигура 2.24. Серийна корелация на Mersenne Twister



Фигура 2.25. Серийна корелация на TrueRNG v3

Фигура 2.26. визуализира разликата в коефициента на серийна корелация между Mersenne Twister и TrueRNG v3 за всички изследвани диапазони на мащабиране, давайки пряко сравнение на независимостта на последователните стойности.



Фигура 2.26. Разлика в серийната корелация

2.5. Изводи

Целта на това изследване беше да се проучи въздействието на евристичните и мета-евристичните методи за оптимизация върху комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси.

Тези евристични методи за оптимизация осигуряват стабилни рамки за подобряване на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси, като се справят с различни предизвикателства от индустриални процеси до контрол на дезинформацията.

Евристичните и мета-евристичните методи играят важна роля за оптимизирането на комуникационните стратегии в управлението на информационните процеси в различни сложни системи. Тези методи, като хипер-евристиките и мета-евристичните техники, целят да подобрят ефективността на комуникацията и управлението на информацията в области като логистиката и дистрибуцията, където сътрудничеството и обменът на знания са от съществено значение.

Генетичните алгоритми се открояват като едни от най-ефективните мета-евристики за глобална оптимизация. Те имитират процеса на естествен подбор, като поддържат популация от кандидат-решения и ги развиват чрез селекция, кръстосване и мутация. Ефективността на генетичните алгоритми зависи от бързото изчисляване на

стойността на годност (целевата функция). Те могат да се прилагат и в контекста на разпределени изчисления, където се управляват глобални и локални популации от решения.

Предложена е и модификация на генетичните алгоритми, вдъхновена от ДНК, която използва сдвоени хромозоми с обърнати битове. Тази техника може да предложи предимства като по-ефективно изследване на пространството за търсене, по-добро справяне с ограниченията и поддържане на разнообразие в популацията. Валидността на тази модификация е тествана с познати функции за сравнение на оптимизацията.

Евристичните и мета-евристичните подходи, и по-специално генетичните алгоритми и техните усъвършенствания, са мощни инструменти за справяне със сложни задачи за оптимизация на комуникационни стратегии и управление на информационни потоци в различни области. Те позволяват намирането на ефективни решения в ситуации, където традиционните методи могат да се окажат недостатъчни.

Предложен е адаптивен метод за апроксимация на изчислително ресурсоемки целеви функции: Разработена е нова техника, използваща полиноми на Лагранж за апроксимация на времеемки целеви функции. Този метод значително намалява изчислителния и комуникационния трафик, което прави приложението на GA осъществимо на устройства с ограничени ресурси, където директната оценка би била непосилна. Адаптивният характер на апроксимационния набор представлява самооптимизиращ се механизъм в рамките на самия алгоритъм.

Разпределената изчислителна система с мобилни устройства може да бъде изключително ефективна при решаването на практически проблеми.

- Модулната организация на софтуера в мобилните приложения дава висока степен на гъвкавост при проектирането на мобилни разпределени системи за прогнозиране.
- Използването на библиотеки с отворен код значително съкращава времето за разработване на софтуер и подобрява качеството, като се разчита на активната група от общността за поддръжка на софтуер.

Описан е холистичен подход към оптимизацията, който отчита не само алгоритмичния резултат, но и ефективността на базовите комуникационни процеси чрез адаптивни техники.

Съдържанието на тази глава е отразено в публикациите:

1. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. Study on Random Numbers Scaling. The 37th European Simulation and Modelling Conference, ESM 2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492-859-28-0, 21-25 (Scopus)
2. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. DNA-INSPIRED GENETIC ALGORITHM MODIFICATION. Proceedings of 21st INTERNATIONAL INDUSTRIAL SIMULATION CONFERENCE ISC'2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492859-26-6, 27-31 (Scopus)
3. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. An Efficiency of Third Party Genetic Algorithms Software Libraries in Mobile Distributed Computing for Financial Time Series Forecasting. Proceedings of 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-7626-3, DOI:10.1109/ICAI55857.2022.9960128, 351-354 (Scopus)
4. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Time-Consuming Fitness Functions Approximation for Genetic Algorithms Performance Improvement. Proceedings of 9th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISCSCS 2022, 9, 1, SGEM WORLD SCIENCE (SWS) Scholarly Society, 2022, ISBN:978-3-903438-04-0, ISSN:2682-9959, DOI:10.35603/sws.iscscs.2022/s04.053
5. **Mateeva, G.**, Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6 (Scopus)

Глава 3. Модели за комуникационни стратегии при управление на информационни процеси в дигитална среда: Технически и архитектурни аспекти

3.1. Моделиране на комуникационни стратегии в дигитална среда

Моделирането на комуникационни стратегии в дигитална среда включва разработването на теоретични рамки и практики за оптимизиране на информационните потоци и комуникационните процеси. Тези модели отчитат техническите и социалните аспекти на информационната обработка, като подчертават важността от баланс между технологичните и когнитивните аспекти на комуникацията. Ефективните

комуникационни стратегии в дигиталната среда включват използване на колаборативни инструменти, адаптивни модели и обучения за дигитална грамотност.

Разбирането и моделирането на комуникационни стратегии в дигитална среда е ключов аспект предвид нарастващото значение на ИКТ в съвременния работен процес и социални взаимодействия [Anthony Cherbonnier et al, 2024].

Дигиталната среда предоставя уникални възможности и предизвикателства, които трябва да бъдат взети предвид при разработването и анализа на тези стратегии [Andree-AnneDeschênes, 2023].

Един важен аспект при моделирането е ролята на интерфейсите и алгоритмите, които оформят дигиталните фокуси и определят наличните възможности за взаимодействие и начина, по който те се представят на потребителя. Тези елементи влияят върху поведението и трябва да бъдат разглеждани като външни фактори, структуриращи комуникацията онлайн [Kevin Lewis, 2021].

Друг ключов елемент е дигиталната грамотност, която включва технически, когнитивни и социо-емоционални умения, необходими за ефективното използване на дигитални среди. Нивото на дигитална грамотност на участниците (както на преподавателя, така и на приемника) влияе върху способността им да използват дигитални инструменти и да се ангажират в ефективна комуникация. Проучванията показват, че по-високата техническа дигитална грамотност е свързана с по-активното използване на колаборативни технологии, което от своя страна има положителен ефект [Andree-AnneDeschênes, 2023].

Моделирането на комуникационни стратегии в дигитална среда трябва да отчита и разнообразието от дигитални канали и инструменти, които могат да бъдат използвани. Те включват различни типове дигитални среди и техните характеристики (Таблица 3.1).

ИМЕРСИВНИ СРЕДИ	НЕИМЕРСИВНИ СРЕДИ
<i>Могат да бъдат използвани за обучение на колаборативни умения и изискват групова активност за постигане на общи цели</i>	<i>Предоставят споделени работни пространства и канали за синхронна и асинхронна дискусия</i>
Видео игри	Платформи за споделяне
Симулации със сценарии	Онлайн курсове
РС-базирани симулатори и инструменти за добавена реалност	Инструменти за колаборативно решаване на проблеми

Таблица 3.1. Типове дигитални среди и техните характеристики

При моделирането е важно да се премине от въпроса *кои* дигитални инструменти да се използват към въпроса как да се използват те ефективно [Anthony Cherbonnier et al, 2024].

Изследванията показват, че използването на колаборативни технологии може да улесни комуникацията, да отговори на различни нужди и да свърже хора, които нямат възможност за лични срещи. Тези технологии могат да повлияят както на когнитивната, така и на емоционалната оценка на близостта между комуникиращите.

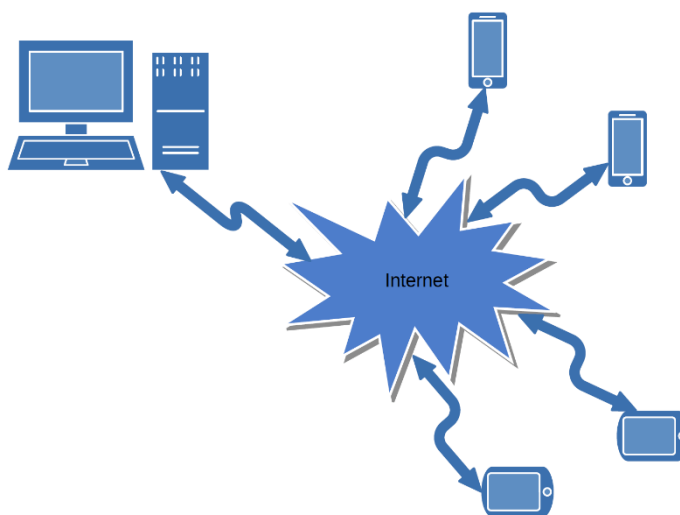
Моделирането на комуникационни стратегии в дигитална среда изисква разбиране на основните комуникационни принципи, спецификата на дигиталните инструменти и среди, както и факторите, влияещи върху ефективността на дигиталната комуникация, като дигиталната грамотност и дизайна на комуникационната стратегия. Емпиричните данни от проучвания, изследващи използването на дигитални инструменти за развитие на колаборативни умения, могат да послужат като ценна основа за разработване и валидиране на такива модели [Anthony Cherbonnier et al, 2024].

3.2. Използване на Android Content Providers за ефективно управление на данни в мобилни разпределени среди

Използването на Android Content Providers може да се разглежда като конкретен механизъм за организиране и управление на информационния поток, който има връзка

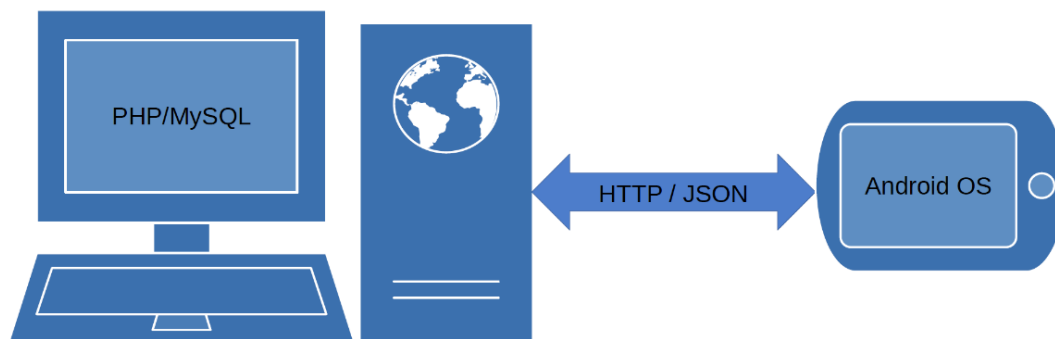
с по-широките цели на ефективното управление на информация в дигитална среда, като модулност, интеграция и осигуряване на достъп до данни.

Системите, организирани на принципа клиент-сървър, използват дигитални комуникации за обмен на информация. В тези системи, сървърът предоставя информация или услуги, към които клиентите (например, мобилни устройства) се свързват през интернет, често използвайки протокола HTTP/JSON за комуникация.



Фигура 3.1. Клиент – сървър архитектура

Този архитектурен модел е фундаментален за много дигитални информационни процеси, където данните се съхраняват и обработват централно и се достъпват от крайните потребители.



Фигура 3.2. HTTP комуникация

Доставчиците на съдържание за Android представляват механизъм за модулно управление и достъп до данни в мобилни разпределени изчислителни приложения. Те подобряват модулността и устойчивостта на приложенията и позволяват по-добра интеграция с операционната система Android и други приложения. Тази концепция може да бъде разширена до по-общ принцип за управление на информационни потоци в дигитални системи чрез обособяване на специализирани компоненти за предоставяне и консумация на данни.



Фигура 3.3. Модулна архитектура

В контекста на разпределените изчисления човек-компютър, комуникацията играе важна роля при събиране на субективни оценки или мнения от потребителите (например, чрез механизми за гласуване). Доставчиците на съдържание могат да бъдат използвани за контрол на гласуването и управление на информацията, свързана с него. Това показва значението на ефективните комуникационни стратегии за интегриране на човешкия фактор в дигитални информационни процеси.

Системата, разделя процесите на предна (графичен интерфейс) и задна (фонове изчисления) част. Комуникацията между тези части, както и с външни сървъри, е ключова за безпроблемното функциониране на системата. Доставчикът на съдържание

служи като буфер за бърз достъп до данни, предотвратявайки блокиране на потребителския интерфейс по време на продължителни изчисления. Това подчертава необходимостта от стратегии за асинхронна комуникация и буфериране на данни при управление на времеемки процеси в дигитална среда [Mateeva, G et al, 2022].

3.3. Моделите за комуникационни стратегии при управление на информационни потоци в дигитална среда в контекста на разпределени изчисления и генетични алгоритми

Моделите за комуникационни стратегии при управление на информационни потоци в дигитална среда в контекста на разпределени изчисления и GA в този дисертационен труд включват:

- Използването на клиент-сървър архитектурата за разпределяне на изчислителни задачи и данни.
- Прилагането на механизми като `AndroidContentProviders` за ефективно управление на локални информационни потоци.
- Разработването на асинхронни комуникационни модели за паралелни еволюционни алгоритми, които минимизират нуждата от честа синхронизация, особено когато оценката на пригодността е скъпа.
- Стратегии за интегриране на човешка обратна връзка, които също изискват внимателно проектирани комуникационни канали.
- Подходи като апроксимация на фитнес функцията, които могат да намалят нуждата от честа комуникация, свързана с пълната оценка на решенията в генетичните алгоритми.

3.4. Анализи и решения в технически и архитектурен аспект

Мобилни, киберфизични системи (CPS) и Интернет на нещата (IoT) са в основата на интензивна информационна и дигитална трансформация [Porchev I. et al., 2019, Stoyanov St., et al, 2018] която предоставя нови възможности за развитие на продукти и услуги, дистанционно управление и диагностика, наблюдение на състоянието, динамична и контролирана поддръжка, проследяване и планиране на

приложения в реално време. В киберфизичните мобилни системи изчислителният компонент е разпределен в цялата физическа система, която е неин носител и е синергично свързана с нейните съставни елементи [Sanfelice R et al, 2016].

Целта на използването на CPS е комбиниране на динамиката на физическите процеси с тези на софтуера и мрежите, предоставяйки абстракции и техники за моделиране, проектиране и анализ за интегрираната цялост. CPS и Интернет на нещата разкриват възможности за създаване на стойност от събраните данни [Chen Y., Li Y et al, 2020].

Стойността на данните се повишава, когато структурирани и неструктурирани данни се обработват и изследват за получаване на полезна информация. В момента няма стандарти за споделяне на данни, генерирани от сензори, което ограничава използването на налични в търговската мрежа измервателни устройства. Разработването на методи за преобразуване на данни в приложими решения е основната изследователска цел [Atanasova, T, 2019]. Това дефинира ключовото предизвикателство (хетерогенните данни) и архитектурния проблем (липса на стандартизация), към които Глава 3 търси решения в технически аспект.

Хетерогенността и архитектурните елементи се основават върху това, че IoT концепцията генерира хетерогенни и шумни данни по своята същност, поради разнообразието от хардуер, операционни системи и комуникационни възможности на устройствата [Mezghani et al, 2017]. Тази хетерогенност включва скаларни измервания, времеви серии, изображения и видео. Липсата на референтен модел на IoT архитектура (Reference Modelling IoT Architecture) възпрепятства прилагането на общ подход за обработка на генерираните данни. В методологичен аспект е необходимо да се прилагат широк спектър от методи и инструменти за извличане и анализ на данните в реално време според различни цели – сензорика, анализ на данни и машинно обучение (ML) [Abu-Elkheir et al. 2013, Zikria et al, 2019]. Резултатите от проучванията показват, че съществуват комуникационни предизвикателства (тъй като IoT е колекция от фундаментално различни системи) и много ML методи не се справят добре с хетерогенността на IoT данните, което налага подходяща интерпретация на ML моделите [Popchev & Orozova, 2021].

Статията [Dineva et al., 2021] представя конкретно архитектурно решение, разработено в рамките на проекта „Интелигентно животновъдство“. Тази система се фокусира върху техническите и архитектурни аспекти за управление на информационните потоци.

Има няколко аспекта на данните от IoT устройства в киберфизичните системи, които затрудняват обработката на данните:

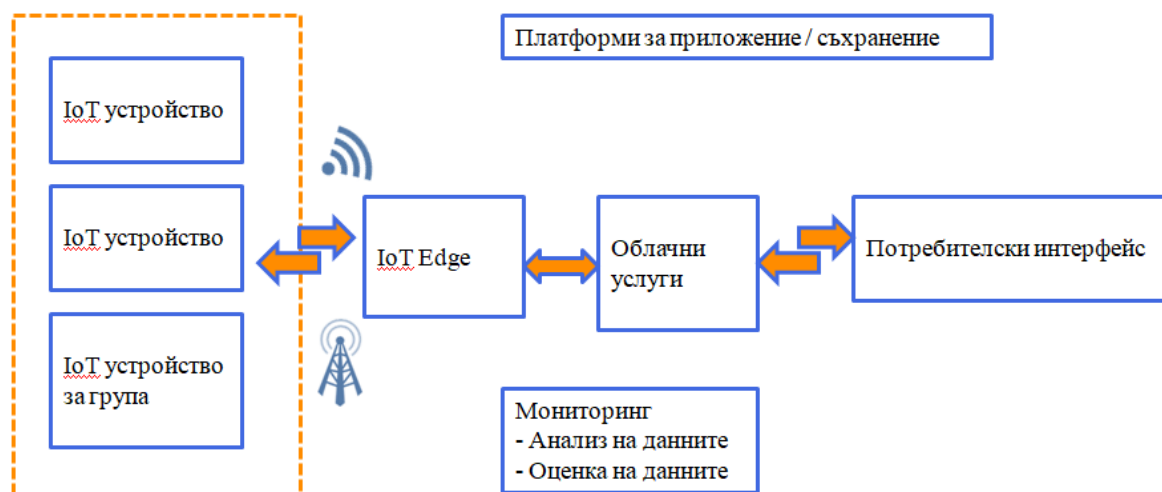
- Събраните данни са шумни поради грешки, възникващи по време на придобиване и предаване.
- По своето естество тези данни са силно променливи, както поради огромното несъответствие в потока от данни, генериран от различни компоненти, така и поради съществуването на различни времеви модели.
- Полезността на данните силно зависи от честотата, с която се улавят и начина, по който се обработват.
- В случаите, когато данните идват от едни и същи устройства, преди да се считат за надеждни, е необходимо да се вземе предвид фактът, че тези устройства могат да се държат различно, дори при подобни условия.
- Преобразуването на неструктурирани потоци от данни в структурирани и отделянето на полезния сигнал от шума са едни от най-важните стъпки в обработката на данни.
- Данните, получени от IoT устройства, често са "грапави" (сурова и небалансирана форма), което налага задължителна предварителна обработка преди стартиране на процеса на извличане на бизнес стойност от тях. Действията по представляват критичен етап в процеса на прилагане на алгоритми за структуриране, почистване и валидиране на данните машинно обучение за разкриване на имплицитни корелации в наборите от данни, които да бъдат отразени в моделите за прогнозиране и класификация [Dineva, K., et al, 2019].

Поради нарастващото количество свързани IoT устройства, обемът на мащабируемост и съществуващият изчислителен капацитет на настоящите архитектурни структури са достигнати [Dineva K., et al, 2020].

Това предполага намирането на подход, който да отговаря на нарастващите изисквания. Базираният в облак Интернет на нещата (CB-IoT) става все по-харесвано и полезно решение. Облачните изчисления предлагат изчислителни възможности и възможности за съхранение с инфраструктура за виртуализация. Това позволява всяко приложение да се обработва от много процесори в облачния център. Ограниченията на IoT устройствата в изчисленията, мощността на батерията и съхранението могат да

бъдат преодолені с помощта на облака, който участва, за да улесни работата на устройства с ниска мощност, малко изчисления и малки хранилища.

Разработената архитектура е базирана на AWS облака. Това позволява на CPS/IoT инфраструктурата да използва инструменти, които вземат решения за автоматизирано мащабиране чрез различни показатели за услугата, като време за реакция, производителност и други. CPS може да помогне на изследователите да разберат по-добре защо се случват определени промени и да формират хипотези и решения за това как да се преодолеят тези проблеми чрез анализиране на данни, събрани чрез системата (Фигура 3.4).



Фигура 3.4. Платформи за приложение / съхранение

Има нужда от надграждане на познатите методи за обработка на данни и фокусиране на усилията върху въвеждането на гъвкави стандартизирани процеси и методологии, включващи все повече типове данни, формати и обеми и в същото време лесни за прилагане и възпроизвеждане.

Проучват се перспективи за разпределено намиране и децентрализирано управление на ресурси, за да се подобри разбирането и ефективността на процесите на събиране на информация в разпределени среди. Предложената CPS/IoT архитектура за интелигентно наблюдение представлява конкретен пример за събиране, обработка и доставяне на информационно съдържание чрез разпределени изчислителни ресурси. Сензорите и IoT устройствата са разпределени източници на данни, облачната

платформа (AWS) осигурява разпределена изчислителна и складова инфраструктура, а обработената информация се доставя на потребителите за вземане на решения. Системата използва различни комуникационни технологии за свързване на разпределените елементи.

3.5. Основни средства за реализация на разпределени изчисления

Android OS API-та: Операционната система Android предоставя редица API-та, които са ключови за реализирането на разпределени изчисления. Сред тях са:

- **Android Services:** Използват се за извършване на дълготрайни операции във фонов режим, без потребителски интерфейс. Те могат да продължат да работят дори след като потребителят е преминал към друга Activity.
- **LiveWallpaper:** Предоставят интерактивни фонове с анимационни възможности за началния екран на телефона. Могат да се използват за междинна визуализация на резултатите от разпределени изчисления.
- **Android Widgets:** Компоненти на графичния потребителски интерфейс, които могат да допринесат за гъвкава междинна визуализация на резултати и да предоставят "бърз преглед" на важна информация. Widgets могат да обработват потребителски вход и се използват за събиране на гласове в сценарии на човешко-компютърни разпределени изчисления.

Архитектура клиент-сървър и комуникация: Системите за мобилни разпределени изчисления често са организирани на принципа клиент-сървър. Комуникацията между мобилните устройства (клиенти) и сървъра се осъществява най-често чрез HTTP/JSON протокол, използвайки RESTful комуникация.

Фоново изпълнение и паралелизъм: Изчисленията, особено тези, свързани с обучението на невронни мрежи, се извършват във фонов режим с помощта на Android Services. За да се избегне блокиране на потребителския интерфейс, дълготрайните изчисления се изпълняват в отделен thread на LiveWallpaper service.

Локално съхранение на данни: За осигуряване на работа при липса на връзка с интернет, данните за изчисленията се съхраняват локално в SQLite релационна база данни.

Използване на външни библиотеки: Тъй като Android OS API-тата не включват готови библиотеки за машинно обучение, се използват външни Java-базирани библиотеки. Примери включват:

- **EncogMachine Learning Framework** за имплементация на многослоен персептрон и resilient backpropagation обучение.
- **MOEA Framework** за метаевристична глобална оптимизация, включително DifferentialEvolution.
- **JSON-java** за обработка на JSON съобщения при комуникация със сървър.
- **Http Client Android Library** за HTTP комуникация със сървър.

Модулен дизайн: Проектът VitoshaTradeAndroidClient е разработен по модулен начин, което позволява прекомпилиране на клиентския код и изпълнение на изчисления дори на настолни компютри.

Тези средства позволяват създаването на ефективни и гъвкави приложения за разпределени изчисления, които могат да използват ресурсите на мобилни устройства за решаване на сложни проблеми [Mateeva, G et al, 2021].

3.6. Основни предизвикателства при проектирането на системи за взаимодействие

3.6.1. Оперативна съвместимост

Оперативната съвместимост се дефинира като гарантиране, че различните системи и компоненти могат да работят безпроблемно заедно. Това е едно от критичните предизвикателства при изграждането и управлението на разпределени и съвместни системи. Следователно, разбирането на основните пречки пред оперативната съвместимост и на ключовите изисквания, на които системите трябва да отговарят, за да бъдат оперативно съвместими, е от съществено значение. В изследване [Sadeghi & Mersedeh, 2023] са идентифицирани осем основни изисквания за оперативна съвместимост и съответните предизвикателства. Направено е критично изследване на градивните елементи на оперативната съвместимост, за да се разбере способността на настоящите концептуални подходи – и свързаните с тях технологии – да отговорят на идентифицираните изисквания. Резултатите могат значително да повлияят на

софтуерното инженерство на оперативно съвместими системи чрез въвеждане на техните основни изисквания и най-добрите практики за справяне с тях.

Оперативната съвместимост е критична в разпределените системи, където различни компоненти трябва да комуникират и функционират заедно. Това изисква задълбочено разбиране на бариерите пред оперативната съвместимост и ключовите изисквания за системите да бъдат оперативно съвместими.

3.6.2. Ресурсни ограничения

Ресурсните ограничения, като ограничения в паметта, дисплея, процесорната мощ и други ресурси, представляват основно предизвикателство при проектирането на системи, като често водят до драматични проблеми с наличните ресурси като ограничена памет, липса на дисплей (т.е. опосредствано управление и взаимодействие) и слаби процесори. Тези ограничения възникват по различни причини, включително икономии от мащаба, при които дори малки количества могат да доведат до значителна разлика в разходите, както и ограничения, наложени от хост средата, като тези за тегло, размер, честотна лента или консумация на енергия.

Категория	Описание	Влияние / Последствия	Принципи и препоръки
Ресурсни ограничения	Ограничения като ограничена памет, липса на дисплей, слаби процесори	Затрудняват изпълнението и управлението	Оптимално използване на ресурси чрез опростяване
Причини за ограничения	Икономии от мащаба и ограничения, наложени от хост средата (тегло, размер, енергия)	Влияят на разходи и възможности на системата	Вземане под внимание още в начални етапи
Предизвикателства в дизайна	Работа върху все още неокончателно проектирани системи с критични неизвестни фактори	Процесът е сложен и неопределен	Използване на итеративни и адаптивни подходи
Перспектива за опростяване	Подход за по-ефективно използване на ресурси и създаване на стабилни, лесни за поддръжка системи	Подобрява стабилността и работоспособността	Прилагане на принципа „по-малко е повече“
Емпирични наблюдения	Събрани открития и примери от експерти,	Улесняват реалното прилагане на	Прилагане на препоръчани

подпомагащи идентификация на добри практики	принципите	методи в системния дизайн
---	------------	---------------------------------

Таблица 3.2. Предизвикателства и принципи при дизайн на системи с ресурсни ограничения

В допълнение към структурните проблеми, които принуждават дизайнерите да разширяват и оптимизират дизайна до краен предел, други предизвикателства могат да повлияят на самия процес на проектиране. Например, когато разработчиците трябва да програмират за система, която все още е в процес на проектиране, такова едновременно разработване включва критични неизвестни фактори. Усилията за проектиране при тези условия са в най-добрия случай трудни и не е ясно доколко тези ограничения са наистина неизбежни.

Вярва се, че перспективата за проектиране за опростяване би оформила ситуацията по по-благоприятен начин, което да доведе до системи, които използват по-добре наличните ресурси, са по-стабилни и по-лесни за поддръжка и използване. Формулирани са предложения за възможни основни принципи, като минимализъм, яснота, адаптивност, ефективно управление на ресурси, модулност и акцент върху опростено и интуитивно потребителско изживяване [Margaria, T et al, 2011].

Проектирането за системи с ограничени ресурси включва работа с ограничена памет, липса на дисплей и слаби процесори. Тези ограничения изискват иновативни стратегии за проектиране за оптимизиране на използването на ресурсите и осигуряване на устойчивост на системата.

3.7. SWOT анализ

В настоящия дисертационен труд са описани аспекти на доставяне на информационно съдържание чрез разпределени изчислителни ресурси, контекста на CPS и IoT. Въз основа на тази информация може да бъде извършен SWOT анализ, който идентифицира силните и слабите страни, възможностите и заплахите, свързани с тези технологии и подходи (Таблица 3.3).

Силни страни (Strengths)

CPS и IoT предоставят нови възможности за развитие на продукти и услуги, дистанционно управление и диагностика, наблюдение на състоянието, динамична и контролирана поддръжка, проследяване и планиране на приложения в реално време.

Използването на CPS комбинира динамиката на физическите процеси с тези на софтуера и мрежите, предоставяйки интегриран подход за моделиране, проектиране и анализ.

CPS и IoT разкриват възможности за създаване на стойност от събраните данни, които се повишават при обработка и анализ за получаване на полезна информация.

Облачните изчисления предлагат значителни изчислителни възможности и капацитет за съхранение чрез виртуализация, което може да преодолее ограниченията на IoT устройствата по отношение на изчисления, енергия и съхранение.

Използването на Android OS API-та (като Android Services, LiveWallpaper и AndroidWidgets) е ключово за реализирането на разпределени изчисления на мобилни устройства, позволявайки фонові операции, визуализация на резултати и потребителско взаимодействие.

Архитектурата клиент-сървър и комуникацията чрез HTTP/JSON протокол (RESTful) са основни средства за изграждане на мобилни разпределени изчислителни системи

Възможността за фонові изпълнение и паралелизъм позволява извършването на интензивни изчисления, като обучение на невронни мрежи, без блокиране на потребителския интерфейс.

Локалното съхранение на данни (например в SQLite) осигурява функционалност дори при липса на интернет връзка.

Използването на външни Java-базирани библиотеки (като Encog, MOEA Framework, JSON-java, HttpClient) разширява възможностите на Android OS за машинно обучение, оптимизация и комуникация.

Модулният дизайн на проекти позволява гъвкавост и прекомпилиране за различни платформи.

Използването на базирана на AWS облак архитектура позволява на CPS/IoT инфраструктурата да използва инструменти за автоматизирано мащабиране и анализ на данни.

Слаби страни (Weaknesses)

В момента няма стандарти за споделяне на данни, генерирани от сензори, което ограничава използването на налични в търговската мрежа измервателни устройства.

Събраните данни от IoT устройства често са шумни, силно променливи поради грешки при придобиване и предаване, несъответствия в потока от данни и различни времеви модели.

Полезността на данните силно зависи от честотата на улавяне и начина на обработка.

Едни и същи устройства могат да се държат различно дори при подобни условия, което трябва да се вземе предвид за надеждността на данните.

Необходимо е преобразуване на неструктурирани потоци от данни в структурирани и отделяне на полезния сигнал от шума, което е сложен процес.

Данните от IoT устройства са често "грапави" и небалансирани, което налага задължителна предварителна обработка.

Структурирането, почистването и валидирането на данните са критичен етап преди прилагането на алгоритми за машинно обучение.

Поради нарастващия брой свързани IoT устройства, обемът на мащабируемост и съществуващият изчислителен капацитет на настоящите архитектурни структури са достигнати.

Проектирането и управлението на оперативно съвместими разпределени и съвместни системи представлява критично предизвикателство.

Системите с ограничени ресурси (памет, дисплей, процесорна мощ) представляват значително предизвикателство при проектирането.

Възможности (Opportunities)

Разработването на методи за преобразуване на данни в приложими решения е основна изследователска цел.

Базираният в облак Интернет на нещата (CB-IoT) става все по-харесвано и полезно решение за преодоляване на ограниченията на IoT устройствата.

Съществува нужда от надграждане на познатите методи за обработка на данни и въвеждане на гъвкави стандартизирани методологии, включващи повече типове данни, формати и обеми.

Проучват се перспективи за разпределено познание и рамки за децентрализирано

управление на ресурси за подобряване на разбирането и ефективността на процесите на сливане на информация в разпределени среди.

Разработената архитектура, базирана на AWS облака, предоставя възможности за автоматизирано мащабиране и анализ на данни, което може да помогне за вземане на решения и разбиране на системното поведение.

Изследванията могат да се фокусират върху въвеждането на гъвкави стандартизирани процеси, които са лесни за прилагане и възпроизвеждане.

Съществува потенциал за влияние върху софтуерното инженерство на оперативно съвместими системи чрез идентифициране на основните изисквания и най-добрите практики.

Перспективата за проектиране за опростяване може да доведе до системи с ограничени ресурси, които използват по-добре наличните ресурси, са по-стабилни и по-лесни за поддръжка и използване.

Заплахи (Threats)

Шумът и грешките в данните могат да намалят тяхната полезност и да доведат до неправилни заключения.

Голямото разнообразие и непоследователност на данните от различни IoT устройства усложнява обработката и анализа.

Достигането на границите на съществуващия изчислителен капацитет може да забави обработката на нарастващите обеми данни.

Липсата на оперативна съвместимост между различни системи и компоненти може да възпрепятства ефективната работа на разпределени системи.

Ресурсните ограничения могат да наложат компромиси при проектирането и функционалността на системите, особено вградените такива.

Едновременно разработване на системи с ограничени ресурси може да бъде трудно поради критични неизвестни.

Таблица 3.3. SWOT анализ на CPS/IoT и разпределени изчислителни ресурси

3.8. Архитектурни модели при проектирането на разпределени системи

Архитектурните модели като доказани решения на проблеми при проектирането на разпределени системи [<https://www.geeksforgeeks.org/computer-networks/architecture-styles-in-distributed-systems/>] предлагат език и рамка за обсъждане на проектни решения, като всяка от тях носи специфичен набор от характеристики, предимства и недостатъци [Washizaki et al, 2020]. Настоящият дисертационен труд имплементира клиент-сървър модел, но този избор съществува в спектър от алтернативи, всяка с различни компромиси по отношение на мащабируемост, отказоустойчивост и латентност.

3.8.1. Клиент-сървър архитектура

Този модел има централизирано управление и ясно разделение на отговорностите (separation of concerns). Клиент-сървър архитектурата е имплементирана в Глава 2 от дисертацията, която използва отдалечен уеб сървър и мобилни клиенти за извършване на разпределени изчисления. Централизираният контрол улеснява управлението на глобалната популация в генетичния алгоритъм, но същевременно въвежда рискове, които трябва да бъдат анализирани.

3.8.2. Peer-to-Peer (P2P) архитектура

Отличава се с децентрализирана природа, висока отказоустойчивост и възможности за споделяне на ресурси. Този модел контрастира с риска от единична точка на отказ (single point of failure), присъщ на клиент-сървър модела – риск, който е идентифициран както в SWOT анализа на дисертацията, така и в общата литература по темата. P2P моделът предлага алтернатива, при която мобилните устройства могат да комуникират директно помежду си, намалявайки зависимостта от централния сървър.

3.8.3. Събитийно-ориентирана (Event-Based/Publish-Subscribe) архитектура

Този модел е изключително подходящ за IoT системи, където устройства (сензори) асинхронно генерират данни („събития“). Събитийно-ориентирана архитектура е силно релевантна за проекта „Интелигентно животновъдство“, където

сензори, следящи жизнените показатели на животните, докладват данни спорадично, при засичане на аномалии, а не постоянен поток. Това позволява изграждането на силно мащабируеми и слабо свързани (loosely coupled) системи.

3.8.4. Многослойна (Layered) архитектура

Предложените в дисертацията модели могат да бъдат рамкирани в контекста на многослойна архитектура, подобна на референтните архитектури за интелигентно земеделие, които често използват слоеве като Сензорен (Sensor), Мрежов (Network), Услуги (Service) и Приложен (Application) [A. Triantafyllou, et al, 2019]. Компонентите на дисертационния труд се вписват в тази структура по следния начин: клиентът на Android като презентационен/приложен слой, сървърът като слой за услуги/данни, IoT устройствата като сензорен слой.

В Таблица 3.4 са обобщени основните архитектурни модели, използвани при проектирането на разпределени системи, представяйки техните ключови принципи, характеристики и пригодност за среди с ограничени ресурси, както и връзката им с модела, предложен в дисертацията.

Архитектурен Модел	Ключов Принцип	Машабируемост	Отказоустойчивост	Характеристики на Латентността	Пригодност за IoT с Ограничени Ресурси	Връзка с Модела в Дисертацията
Клиент-сървър	Централизиран контрол	Ограничена от сървъра	Ниска (единична точка на отказ)	Зависи от близостта и натоварването на сървъра	Висока (тънки клиенти)	Имплементиран модел: Централен сървър за управление на популацията в GA; мобилни клиенти за изчисления.
Peer-to-Peer (P2P)	Децентрализиран контрол	Висока	Висока (няма единична точка на отказ)	Променлива; може да бъде ниска за локални участници	Средна (участниците действат и като сървъри)	Алтернативен/Хибриден модел: Може да се използва за директен обмен на данни между мобилни възли без

						посреднишеството на сървър.
Събитийно-ориентирана (Pub/Sub)	Асинхронни съобщения	Висока	Висока (слаба свързаност)	Ниска за разпространение на събития	Висока (лекотоварни издатели)	Концептуална пригодност: Съответства на природата на генериране на данни от IoT сензори в интелигентното земеделие.
Многослойна	Разделение на отговорностите	Варира	Варира	Варира	Висока	Цялостна рамка: Системата в дисертацията може да бъде описана чрез многослоен модел (Сензорен, Мрежов, Услуги, Приложен).

Таблица 3.4. Сравнителна таблица на основни архитектурни модели

Чистият клиент-сървър модел е имплементиран в дисертацията поради своята простота и възможността за централизиран контрол върху оптимизационния процес, но една бъдеща, устойчива и стабилна архитектура за целевия домейн може да бъде хибридна. Такъв хибриден модел би могъл да използва клиент-сървър архитектура за управление на глобалния модел и координация, но да включва събитийно-ориентирана комуникация за приемане на данни от сензори и P2P комуникация за опортюнистичен, нисколатентен обмен на данни между устройствата.

Изборът на архитектура не е просто технически детайл, а стратегическо решение, което пряко влияе върху способността на системата да се справи с основните предизвикателства като мащабируемост, отказоустойчивост и ограничени ресурси, идентифицирани в SWOT анализа. SWOT анализът в дисертацията изрично посочва „единична точка на отказ“ (следствие от централизацията) и „ограничения в мащабируемостта“ като слабости/заплахи.

Текущата Глава 3 описва клиент-сървър модел, за който литературата потвърждава, че е уязвим именно към тези проблеми. Чрез въвеждането и анализа на алтернативни парадигми като P2P и събитийно-ориентирани архитектури могат да се

преодоляват тези компромиси. Тази глава аргументира защо тази архитектура е избрана, какви са нейните ограничения и как един хибриден модел би могъл да ги преодолее. Тази обосновка, базирана на установена теория, помага да пренесе конкретната софтуерна имплементация до преизползваема рамка за проектиране за цял клас проблеми: внедряване на евристична оптимизация в разпределени среди с ограничени ресурси.

3.9. Специфични техники за оптимизация на комуникацията

Комуникацията в CPS/IoT е фундаментално ограничена от енергия, честотна лента и изчислителна мощ [Taha et al., 2020]. Трябва да се отбележи, че традиционните комуникационни протоколи често са твърде ресурсоемки за такива среди, което налага разработването на специализирани и адаптивни подходи.

3.9.1. Адаптивни Комуникационни модели

Концепцията за адаптивно предаване на данни е ключова. Като аналогия може да се използва примерът с комуникацията между превозни средства (V2V), където едно превозно средство адаптира своята скорост на предаване на данни (модулационна схема) в зависимост от броя на близките превозни средства (плътността на мрежата) [Wei et al 2018]. В контекста на дисертацията подобен модел заедно IoT устройство би могъл да адаптира честотата на предаване или резолюцията на данните си в зависимост от наличното ниво на батерията, натовареността на мрежата или „спешността“ на данните.

Интегрирането на концепцията за спешност на задачата (task urgency) [Ding et al, 2024] добавя нова налитичен пласт. Например, при анализа на казуса за прилагане на интелигентни информационно-комуникационни технологии в животновъдство, може да се постави въпросът: дали наблюдението на жизнените показатели на животните е задача с висока спешност, изискваща ниската латентност на централизиран модел, или е задача с ниска спешност, при която ефективността на децентрализиран модел би била за предпочитане? По този начин теоретични рамки от организационните науки се прилагат към технически проблеми, обогатявайки интердисциплинарния характер на изследването.

3.9.2. Енергийно-Ефективно Маршрутизиране и Агрегиране на Данни

Данните могат да бъдат агрегирани в междинни възли (например, „кълъстер“ в безжична сензорна мрежа), за да се намали общият брой предавания към централния сървър. Това е пряко свързано с йерархичните протоколи за маршрутизиране. Чрез локална обработка и агрегиране, системата може драстично да намали комуникационния трафик и следователно консумацията на енергия, което е критично за дълготрайната работа на сензори, захранвани от батерии.

3.9.3. Нововъзникващи нискоенергийни технологии

С нововъзникващи авангардни технологии като комуникация чрез обратно разсейване (ambient backscatter communication), пасивни IoT устройства модулират съществуващи в околната среда радиочестотни сигнали, за да предават данни, изисквайки практически нулева собствена енергия за предаване [Chenand et al, 2021].

Оптимизацията на комуникацията е свързана не само с алгоритмични решения (както е описано в Глава 2), а е всеобхватен проблем, който се простира през физическия, мрежовия и приложния слой. Истинската оптимизация изисква холистичен, многослоен подход. Докато Глава 2 се фокусира върху оптимизирането на резултата от информационния процес чрез GA, извършеният в тази глава SWOT анализът и външните изследвания [Taha et al, 2020] подчертават, че самият процес на комуникация е основно „тясно място“ поради ресурсни ограничения. Чрез въвеждането на адаптивни модели за предаване [Wei et al, 2018], енергийно-осъзнато маршрутизиране и отчитане на фактори като спешност на задачата от [Ding et al, 2024], концепция за „оптимизация“ става всеобхватна. Това свързва високото ниво на алгоритмична оптимизация с ниското ниво на мрежова и енергийна оптимизация. Такъв подход разширява евристичните методи към областта на „зелените“ изчисления (green computing) и устойчивия IoT, където енергийната и комуникационна ефективност са от първостепенно значение.

3.10. Архитектурно проектиране на Евристична оптимизация в разпределени системи

3.10.1. Архитектурни парадигми за разпределени Генетични алгоритми

Изпълнението на ГА в разпределена среда изисква специфични архитектурни решения. Предложеният в дисертацията модел за управление на глобални и локални популации, е „островен модел“ (island model). В този модел всяко мобилно устройство (клиент) поддържа собствена локална популация от решения (остров), която еволюира полу-независимо.

3.10.2. Комуникационни протоколи за еволюционна информация

Между възлите и централния сървър се обменя следната информация:

- Разпространение на начална популация: сървърът инициализира локалните популации на клиентите.
- Миграция на индивиди: Периодичният обмен на най-добрите решения между локалните популации (островите). Това е ключов механизъм за предотвратяване на преждевременна конвергенция към локални оптимуми.
- Излъчване на глобално най-доброто решение: сървърът събира най-добрите индивиди от всички острови и разпространява глобалния шампион обратно към клиентите.

Основният компромис е в това, че честата миграция подобрява качеството на решението, но увеличава комуникационния трафик. Определянето на оптималната честота и топология на миграцията е само по себе си сложен оптимизационен проблем [Mohamed et al, 2012].

3.10.3. Интегриране на специфичните модификации на GA

Интегриране на „ДНК-вдъхновената модификация на GA “ –Тъй като хромозомите-близнаци споделят една стойност на пригодност (fitness), в разпределена среда това може да се управлява по различен начин. Например, при годността се изчислява веднъж на сървъра и се излъчва. Другият вариант е два различни клиента изчисляват пригодността за всеки от близнаците и след това се извършва синхронизация. Това показва за практическите предизвикателства при имплементацията.

Интегриране на „Апроксимация на времеемки целеви функции“ – Този метод е проектиран да намали скъпите изчисления на целевата функция. В архитектурен план това има огромни последици. Това означава, че системата може да работи със значително по-малко комуникация, тъй като пълните набори от данни за оценка на пригодността не трябва да се предават толкова често. Този метод е ключов фактор, който прави възможно изпълнението на GA на мобилни устройства с ограничени ресурси. Адаптивният характер на размера на апроксимационния набор е форма на самоадаптивно поведение, което може да бъде свързано с утвърдени модели за самоадаптивни системи като MAPE-K (Monitor-Analyze-Plan-Execute-Knowledge) [Krupitzer, et al, 2020].

Модификациите на GA, представени в Глава 2, са технологии, които фундаментално променят архитектурните изисквания и осъществимостта на внедряването на усъвършенствана оптимизация на ръба на мрежата (edge). Един стандартен GA би изисквал честа и скъпа комуникация за оценка на пригодността, което го прави непрактичен за описаната мобилна/IoT среда. Методът за апроксимация с полиноми на Лагранж директно атакува това комуникационно „тясно място“.

Следователно, алгоритъмът и архитектурата са в синергична връзка. Алгоритъмът прави архитектурата осъществима, а архитектурата е платформата, която позволява ползите от алгоритъма да бъдат реализирани. Този подход позволява на дисертацията да твърди, че нейният принос не е просто „нов алгоритъм“ плюс „нова система“, а съвместно проектирана, холистична алгоритмично-архитектурна рамка, където всяка част е от съществено значение за другата. Този принцип на съвместно проектиране (co-design) е значителен принос към областта на Edge AI и разпределения интелект, демонстрирайки практическа методология за преодоляване на присъщото напрежение между алгоритмичната сложност и ограниченията на устройствата.

3.11. Перспективна архитектурна визия

Предложената рамка може да се развива, демонстрирайки дългосрочната релевантност на работата и позиционирайки я в контекста на технологии от следващо поколение.

3.11.1. Интеграция с Федеративно обучение (Federated Learning)

Федеративното обучение (ФО) може да бъде представено като естествена еволюция на разпределения модел за обучение. Докато при традиционния централизиран подход данните или обновлението се изпращат към централен сървър за обработка, при ФО се тренират локални модели директно на устройствата, като се изпращат само параметрите на тези модели за последващо агрегиране. Това намалява необходимия комуникационен трафик и същевременно се справя с хетерогенността на устройствата, тъй като всеки клиентски възел може да използва собствените си ресурси и специфични данни, повишавайки сигурността и ефективността на обучението. <https://arxiv.org/html/2502.05273v1> [William Marfo, et al, 2025].

Оптимизационните стратегии, разгледани в настоящия дисертационен труд (като например Лагранжевата апроксимация за намаляване на комуникацията и адаптивните модели), са специално разработени за справяне с тези ключови предизвикателства. По този начин дисертацията допринася за решаването на едни от най-актуалните проблеми в съвременното машинно обучение.

3.11.2. Мултиагентни системи (МАС) за Децентрализирани преговори

Може да се предложи еволюция от клиент-сървър модела към МАС. Вместо централен сървър да диктува задачите, мобилните устройства биха могли да действат като автономни агенти, които преговарят за комуникационни стратегии и стратегии за споделяне на ресурси [Boukaibat et al, 2025]. Теорията на игрите може да бъде въведена като математическата рамка за тези преговори [Dejun Yang, et al, 2012]. Концепциите на коалиционните игри [Saad, et al, 2009]. могат да се използват за моделиране на това как групи от устройства могат да формират динамични коалиции за изпълнение на разпределена изчислителна задача, споделяйки разходите (батерия) и наградите (резултати).

3.11.3. Влияние на 5G/6G и Технологии от следващо поколение

Появата на 5G/6G мрежи, с тяхната ниска латентност и висока честотна лента, ще улесни допълнително предложените модели [Zreikat et al, 2025]. Квантовата комуникация би могла да адресира опасенията за сигурността, които са споменати в дисертацията.

Рамката, представена в дисертацията, не е крайна точка, а фундаментална стъпка към по-напреднали, напълно автономни и децентрализирани интелигентни системи. Текущият модел включва централен сървър за координация. MAC и теорията на игрите [Boukaibat et al, 2025]. предоставят пътна карта за премахване на този централен координатор и позволяване на устройствата да се самоорганизируют и да преговарят. Федеративното обучение [Dritsas et al, 2025] предоставя пътна карта за подобряване на поверителността на разпределения процес на обучение.

Следователно, дисертацията може да позиционира своите приноси (оптимизирана комуникация, ефективни разпределени GA) като съществени предпоставки за тези бъдещи системи. Например, агентите в една MAC се нуждаят от ефективни комуникационни стратегии, за да преговарят ефективно – стратегии, които дисертацията предоставя. Това позиционира изследването в челните редици на еволюцията от просто разпределено изчисление към сложни, самоорганизиращи се кибер-физични системи от системи, което е ключова тема в изследванията на компютърните системи от следващо поколение.

3.12. Изводи

Мобилните, киберфизичните системи и IoT представляват основата на интензивна информационна и дигитална трансформация, която създава нови възможности за развитие на продукти и услуги. Тези системи генерират огромни количества данни, чиято стойност нараства след обработка и анализ. Въпреки това, обработката на тези данни е съпроводена с редица предизвикателства, включително шум, променливост, липса на стандартизация и "грапавост" на данните, което налага тяхната предварителна обработка и структуриране.

Нарастващият брой свързани IoT устройства води до достигане на границите на съществуващите архитектурни структури по отношение на мащабируемост и изчислителен капацитет. Базираният в облак Интернет на нещата (CB-IoT) се очертава като предпочитано решение, предлагайки необходимите изчислителни ресурси и възможности за съхранение чрез виртуализация, което позволява преодоляване на ограниченията на самите IoT устройства.

Разработването на системи за доставяне на информационно съдържание чрез разпределени изчислителни ресурси, като предложеният CPS/IoT модел за интелигентно наблюдение, демонстрира конкретен пример за събиране, обработка и предоставяне на информация на потребителите за вземане на решения. За реализацията на такива системи се използват различни средства, включително Android OS API-та (като Services, LiveWallpaper и Widgets), архитектура клиент-сървър с комуникация през HTTP/JSON, фоново изпълнение и паралелизъм, локално съхранение на данни и външни библиотеки за машинно обучение.

При проектирането на тези разпределени системи съществуват ключови предизвикателства, сред които са оперативната съвместимост – гарантиране, че различните системи и компоненти могат да работят безпроблемно заедно, и ресурсните ограничения на самите IoT устройства, които имат ограничена памет, процесорна мощност и често липсва дисплей. Тези ограничения изискват иновативни стратегии за проектиране, които да оптимизират използването на наличните ресурси и да осигурят устойчивост на системите. В крайна сметка, разработването и внедряването на ефективни и гъвкави решения в областта на разпределените изчисления е от съществено значение за пълноценното използване на потенциала на мобилните системи, CPS и IoT.

В тази глава са разгледани модели, които позволяват ефективно прилагане на разработените евристични методи на хетерогенни мобилни и IoT устройства в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, включително техните технически и архитектурни аспекти на управлението на информационни потоци.

Съдържанието на тази глава е отразено в публикациите:

1. **Mateeva, G.**, Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6 (Scopus)
2. Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., **Mateeva G.**, Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International

Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255 (Scopus)

3. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360 (Scopus)

Заклучение - Резюме на получените резултати

В дисертационния труд са изследвани подробно модели и методи, като са проведени множество експерименти в реална среда с различни средства, среди и техники. Направен е качествен и количествен анализ на ефекта от използването на предложените модели.

Постигнатите резултати илюстрират три основни научно-приложни постижения: (1) Методологично подобрене чрез разработването на два нови подхода за подобряване на ефективността на генетичните алгоритми в мрежови среди; (2) Архитектурна иновация чрез създаването на модел за разгръщане на сложни оптимизационни задачи на устройства с ограничени ресурси; и (3) Практическо приложение чрез валидирането на цялостната рамка в реална кибер-физична система за интелигентно земеделие, доказвайки нейната практическа приложимост и ефективност.

Основни научно-приложни приноси:

1. Методологично подобрене: Разработени са два нови подхода за подобряване на ефективността на GA в мрежови среди.

- Модификация на генетичен алгоритъм, вдъхновена от ДНК: Предложена и валидирана е нова репрезентация, използваща сдвоени хромозоми с инвертирани битове. Този метод подобрява изследването на пространството на търсене и поддържа разнообразието на популацията, предоставяйки по-стабилно решение за сложни оптимизационни проблеми в сравнение със стандартните GA.

- Адаптивен метод за апроксимация на изчислително скъпи целеви функции: Разработена е нова техника, използваща полиноми на Лагранж за

апроксимация на времеемки целеви функции. Този подход значително намалява изчислителния и комуникационния трафик, което прави приложението на GA осъществимо на устройства с ограничени ресурси, където директната оценка би била непосилна. Адаптивният характер на апроксимационния набор представлява самооптимизиращ се механизъм в рамките на самия алгоритъм. Като част от хибридната рамка за оптимизация на комуникационни стратегии в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, разработената техника служи като метод за подобряване на ефективността на генетичните алгоритми за целите на управление на информационни процеси.

2. Архитектурна иновация: Създаден е нов архитектурен модел за практическо внедряване на изчислително интензивни оптимизационни алгоритми като GA на хетерогенни мобилни и IoT устройства с ограничени ресурси. Новостта на тази архитектура се крие в синергичната комбинация от:

- Асинхронни комуникационни протоколи: Моделът минимизира необходимостта от честа синхронизация между централния сървър и клиентите, смекчавайки проблема с „най-бавния клиент“, често срещан в разпределените системи.
- Модулно и буферирано управление на данни: Специфичното използване на механизми като Android Content Providers служи като обобщен модел за разделяне на взаимодействието с потребителя (преден план) от изчисленията (задан план), осигурявайки отзивчивост на системата и ефективна локална обработка на данни. Тази архитектура е валидирано решение на предизвикателството за изпълнение на сложни, дълготрайни задачи на мобилни платформи. Това съвместно проектиране на алгоритъм и архитектура е значителен принос към областта на Edge AI и разпределения интелект.

3. Практическо приложение: Разработен е цялостен приложен модел за интелигентен мониторинг и обработка на данни в областта на интелигентното земеделие, валидиран чрез проекта „Интелигентно животновъдство“. Това представлява научно изследване на казус, което демонстрира реалната ефикасност на предложената хибридна рамка. Валидацията е многостранна, като използва:

- Количествени метрики за производителност: Строга оценка с помощта на стандартни метрики като средна абсолютна грешка (MAE) и средноквадратична грешка (RMSE) за доказване на прогнозната точност и ефективността на оптимизационните алгоритми.

- Качествен стратегически анализ: Извършен е SWOT анализ, който контекстуализира силните и слабите страни на системата и валидира нейните проектни решения спрямо ключови предизвикателства в домейна като качество на данните, оперативна съвместимост и ресурсни ограничения.

Настоящият дисертационен труд представя хибридна рамка за оптимизация на комуникационни стратегии в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси, която интегрира гъвкави архитектурни модели, усъвършенствани евристични методи и холистичен подход към управлението на информационни потоци. Този подход позволява ефективно, управлявано от данни вземане на решения в съвременните цифрови екосистеми.

Насоки за бъдещи изследвания

Основните насоки за бъдещи изследвания върху тематиката на дисертацията включват:

- По-нататъшно развитие и прилагане на усъвършенствани евристични методи, по-специално GA, в разпределени дигитални среди с ограничени ресурси. Това включва изследване на иновативни стратегии за проектиране, които да подобрят използването на наличните ресурси в системи с ограничени възможности (като памет, дисплей и процесорна мощ) и да осигурят по-стабилни и лесни за поддръжка решения.

- Разширяване на проучванията върху адаптивни и децентрализирани архитектурни модели за ефективно управление на информационни потоци и ресурси. Това включва изследване на оперативната съвместимост в разпределени и съвместни системи, както и разработване на стандартизирани методи за обработка и споделяне на данни от IoT устройства.

- Дълбочинно изследване на интеграцията и приложението на нововъзникващи комуникационни технологии и AI подходи за подобряване на оптимизационните стратегии. Това обхваща бъдещи тенденции като квантова комуникация, 5G и следващите поколения мобилни мрежи, както и сътрудничество с изкуствен интелект и холографски интерфейси, които ще допринесат за значително подобряване на сигурността, скоростта и интелигентността на комуникационните стратегии.

Публикации по темата на дисертационния труд

1. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. Study on Random Numbers Scaling. The 37th European Simulation and Modelling Conference, ESM 2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492-859-28-0, 21-25 (**Scopus**)
2. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Balabanov, T. DNA-INSPIRED GENETIC ALGORITHM MODIFICATION. Proceedings of 21st INTERNATIONAL INDUSTRIAL SIMULATION CONFERENCE ISC'2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492859-26-6, 27-31 (**Scopus**)
3. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. An Efficiency of Third Party Genetic Algorithms Software Libraries in Mobile Distributed Computing for Financial Time Series Forecasting. Proceedings of 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-7626-3, DOI:10.1109/ICAI55857.2022.9960128, 351-354 (**Scopus**)
4. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360 (**Scopus**)
5. Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., **Mateeva G.**, Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255 (**Scopus**)
6. **Mateeva, G.**, Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6 (**Scopus**)
7. **Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Time-Consuming Fitness Functions Approximation for Genetic Algorithms Performance Improvement. Proceedings of 9th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISC'SS 2022, 9, 1, SGEM WORLD SCIENCE (SWS) Scholarly Society, 2022, ISBN:978-3-903438-04-0, ISSN:2682-9959, DOI:10.35603/sws.iscss.2022/s04.053

Забелязани цитирания

Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., **Mateeva G.**, Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255

Цитира се в:

1. Patel, H., Samad, A., Hamza, M., Muzak, A., Harahap, M., "Role of Artificial Intelligence in Livestock and Poultry Farming". Sinkron : Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika, Volume 7, 2022. [@2022](https://doi.org/10.33395/sinkron.v7i4.11837)
2. R. Trifonov, O. Nakov, G. Tsochev and P. Nakov, "The Use of Intelligent Methods to Protect Industrial Systems, " 2022 10th International Scientific Conference on Computer Science (COMSCI), Sofia, Bulgaria, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/COMSCI55378.2022.9912603., @2022
3. Vivek Sharma, Ashish Kumar Tripathi, Himanshu Mittal, Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions, Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 107217, ISSN 0168-1699, @2022
4. Ali AlZubi Ahmad, Al-Zu'bi Maha. "Application of artificial intelligence in monitoring of animal health and welfare", Indian Journal of Animal Research, 2023, Volume 57, Issue 11 1550-1555, Print ISSN : 0367-6722. Online ISSN : 0976-0555. Article DOI : 10.18805/IJAR.BF-1698, @2023
5. Chikurtev D. , Yosifova V. , Haralampieva M. , Petrov R. Development and evaluation of an energy-efficient intelligent infrared heating system for industrial buildings. Journal of Energy Systems. 2023; 7(3): 277-289., @2023
6. Chinnasamy, S., Dharani, L., Thanuja, S., Kavishree, P. "Cyber-Physical Systems in Agriculture: Applications, Challenges, and Future Perspectives". IGI Global, Contemporary Developments in Agricultural Cyber-Physical Systems, 2023, DOI: 10.4018/978-1-6684-7879-0.ch002, @2023
7. E. Elbasi et al., "Artificial Intelligence Technology in the Agricultural Sector: A Systematic Literature Review, " in IEEE Access, vol. 11, pp. 171-202, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3232485., @2023

8. Hirsch, Ch., Davoli, L., Grosu, R., Ferrari, G. "DynGATT: A dynamic GATT-based data synchronization protocol for BLE networks". Elsevier: Computer Networks, 109560, 2023, doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109560, @2023
9. Jian, Li, Fan, XU, Yichen, XIE, Shut, Liu, Xinpeng, Wang, Haiti, Fu. "Design and Research of Intelligent Beef Cattle Breeding System Based on Internet of Things *. Journal of Jilin Agricultural (吉林农业大学学报), 45(4): 485-496, 2023. DOI:10.13327/j.jjlau.2021.1890, @2023
10. Awoke Melak, Tesfalem Aseged, Takele Shitaw. "The Influence of Artificial Intelligence Technology on the Management of Livestock Farms", January 2024, International Journal of Distributed Sensor Networks 2024(2):1-12 DOI: 10.1155/2024/8929748, @2024
11. Charu Harish Arora, Sakshi Dilip Autade, Anuksha Mhalu Avhad, Ratan Dattaray Deokar (2024), Smart Cattle Care: An IOT Based Monitoring and Management System. International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT) IJISRT24APR1600, 1928-1931. DOI: 10.38124/ijisrt/IJISRT24APR1600. <https://www.ijisrt.com/smart-cattle-care-an-iot-based-monitoring-and-management-system>, @2024
12. Harini Shree Bhaskaran, Miriam Gordon, Suresh Neethirajan. "Development of a Cloud-Based IoT System for Livestock Health Monitoring Using AWS and Python" bioRxiv 2024.06.08.598087; doi: <https://doi.org/10.1101/2024.06.08.598087>, @2024
13. K. S, S. S. Nath, U. R. D. I and L. P. J, "Integration of IoT for Precision Livestock Monitoring Through Geofencing, " 2024 5th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), Coimbatore, India, 2024, pp. 437-442, doi: 10.1109/ICESC60852.2024.10690139., @2024
14. Navoday Atul Kopawar and Komal Gajanan Wankhede, "Internet of Things in Agriculture : A Review", Int J Sci Res Sci Eng Technol, vol. 11, no. 2, pp. 161–165, Apr. 2024, doi: 10.32628/IJSRSET2411215., @2024
15. P. N. Patel, Meera Padaliya, Sanjay VC, and Basu Anand, "Internet of Things: A Way of Transforming Conventional Agriculture", Int J Sci Res Sci Eng Technol, vol. 11, no. 5, pp. 281–292, Oct. 2024, doi: 10.32628/IJSRSET24115120., @2024

16. Pilarczyk, M., Ulewicz, R. "The Impact of Agriculture 4.0 on Workplace Safety in Animal Handling". System Safety: Human - Technical Facility - Environment Volume 6 (2024): Issue 1 (December 2024) DOI: 10.2478/czoto-2024-0008, @2024
 17. Taiwo, G.A., Alameer, A., Mansouri, T.. "Review of farmer-centered AI systems technologies in livestock operations". CABI Reviews, 19:1, <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2024.0038>, @2024
 18. Gowtham Haribabu, Nandha Gopal Jothiperumal, Jose Anand Archangel, Madhu Balasubramanian. "Dairy Cattle Systems and Economic Analysis with Smart Technologies", Smart Technologies for Sustainable Livestock Systems, 1st Edition, 2025, CRC Press, Pages 18, eBook ISBN9781003527114, @2025
 19. Kanakaris, V., Vrochidou, E. and Papakostas, G.A. (2025). Livestock Monitoring and Welfare. In Emerging Smart Agricultural Practices Using Artificial Intelligence (eds A. Kumar, J.P. Verma and R. Jain). <https://doi.org/10.1002/9781394274277.ch13>, @2025
 20. Leavy, Sebastian and Allegretti, Gabriela and Presotto, Elen and Montoya, Marco Antonio and Talamini, Edson, Harnessing Cyber-Physical Social Systems for Comprehensive Bioeconomy Measurement (April 21, 2025). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5235321> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5235321>, @2025
 21. S. SN, S. P, H. S. R and P. G, "Cattle Health and Gestation Monitoring System to Improve Dairy Production, " 2025 3rd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA), Coimbatore, India, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICAECA63854.2025.11012405., @2025
- Mateeva, G.**, Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360

Цитира се в:

22. G. Hou, J. Yao, F. Yu, Y. Huang and W. Lu, "Exhaustive Search for Costas Arrays Using Distributed Computing System," 2023 IEEE Smart World Congress (SWC), Portsmouth, United Kingdom, 2023, pp. 1-8, doi: 10.1109/SWC57546.2023.10449322

Участие в проекти

1. Национална Научна Програма „Интелигентно животновъдство” (Инте-Живо),
РП 5 и РП 11.
2. Изследване на методи и технологии за цифровизация на образованието, КП-06-
М75/3

Декларация за оригиналност на резултатите

Декларирам, че дисертацията съдържа оригинални резултати, получени, при проведени от мен, научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител.

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са коректно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящият дисертационен труд не е прилаган за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис:

/ Гергана Матеева /

Библиография

1. Mateeva, G., Parvanov, D., Balabanov, T. Study on Random Numbers Scaling. The 37th European Simulation and Modelling Conference, ESM 2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492-859-28-0, 21-25
2. Mateeva, G., Parvanov, D., Balabanov, T. DNA-INSPIRED GENETIC ALGORITHM MODIFICATION. Proceedings of 21st INTERNATIONAL INDUSTRIAL SIMULATION CONFERENCE ISC'2023, EUROSIS-ETI, 2023, ISBN:978-9-492859-26-6, 27-31
3. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. An Efficiency of Third Party Genetic Algorithms Software Libraries in Mobile Distributed Computing for Financial Time Series Forecasting. Proceedings of 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-7626-3, DOI:10.1109/ICAI55857.2022.9960128, 351-354
4. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Android Content Providers in Mobile Distributed Computing. Proceedings of 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), IEEE, 2022, ISBN:978-1-6654-8101-4, DOI:10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874360
5. Dineva K., Atanasova T., Petrov P., Parvanov D., Mateeva G., Kostadinov G. Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, 2021, ISSN:978-1-6654-2661-9, DOI:10.1109/ICAI52893.2021.9639460, 252-255
6. Mateeva, G., Tomov, P., Parvanov, D., Petrov, P., Kostadinov, G., Balabanov, T. Some Capabilities of Android OS for Distributed Computing. Proceedings of Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2021, ISBN:978-1-6654-1043-4, DOI:10.1109/BdKCSE53180.2021.9627286, 1-6
7. Mateeva, G., Parvanov, D., Dimitrov, I., Iliev, I., Balabanov, T. Time-Consuming Fitness Functions Approximation for Genetic Algorithms Performance Improvement. Proceedings of 9th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISC'SS 2022, 9, 1, SGEM WORLD SCIENCE (SWS) Scholarly Society, 2022, ISBN:978-3-903438-04-0, ISSN:2682-9959, DOI:10.35603/sws.iscss.2022/s04.053
8. Abrosimov Y., Mingaleev G., Snegurenko A. Organization of Enterprise Digital Infrastructure (2020) 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, art. no. 9271088, DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271088
9. A. Mohammadi, H. Asadi, S. Mohamed, K. Nelson and S. Nahavandi, "OpenGA, a C++ GeneticAlgorithmLibrary," 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff, AB, Canada, 2017, pp. 2051-2056, doi: 10.1109/SMC.2017.8122921
10. A. C. Elkins, D. C. Derrick, J. K. Burgoon and J. F. Nunamaker Jr., "Predicting Users' Perceived Trust in Embodied Conversational Agents Using Vocal Dynamics," 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI, USA, 2012, pp. 579-588, doi: 10.1109/HICSS.2012.483
11. A. Triantafyllou, D. C. Tsouros, P. Sarigiannidis and S. Bibi, "An Architecture model for Smart Farming," 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Santorini, Greece, 2019, pp. 385-392, doi: 10.1109/DCOSS.2019.00081.

12. Alcaide Muñoz L., Alcaide Muñoz C., Rodríguez Bolívar M.P. A Systematic Literature Review on Determinants, Strategic Management Process and Outcomes of Strategic Information Systems (SIS) Implementation in Public Administration (2024) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 14841 LNCS, pp. 63 - 78, DOI: 10.1007/978-3-031-70274-7_5
13. Álvarez D. D.A., Buonaffina F. R.E., Zabala A. S.A. Diagnosis of a operational, technology and communicative situation of nuevaesparta state police, Venezuela [Diagnóstico de la situaciónoperacional, tecnológica y comunicacional de la policía del estadonuevaesparta, venezuela] (2014) Espacios, 35 (2), pp. 19
14. Alves D.D., Matos E.D.S. Interaction Design in Distributed Software Development: Practices, challenges, recommendations and research gaps (2023) ACM International Conference Proceeding Series, art. no. 41, DOI: 10.1145/3638067.3638106
15. Alves D.D., Matos E.S. Interaction Design in Distributed Software Development: What we know and what we don't know (2024) Journal on Interactive Systems, 15 (1), pp. 632 - 656, DOI: 10.5753/jis.2024.4094
16. Antal K., Szabo Z. Application of Artificial Intelligence in Heuristic Models for Process Improvement (2023) International Conference on Software, Knowledge Information, Industrial Management and Applications, SKIMA, pp. 255 - 260, DOI: 10.1109/SKIMA59232.2023.10387343
17. Boukaibat, A., Krami, N., Rochdi, Y., El Bakkali, Y., Laamim, M., & Rochd, A. (2025). Real-Time Energy Management in Microgrids: Integrating T-Cell Optimization, Droop Control, and HIL Validation with OPAL-RT. *Energies*, 18(15), 4035. <https://doi.org/10.3390/en18154035>
18. Balasko B., Nemeth S., Nagy G., Abonyi J. Integrated process and control system model for product quality control-application to a polypropylene plant (2008) Chemical Product and Process Modeling, 3 (1), art. no. 50, DOI: 10.2202/1934-2659.1213
19. Balabanov, T. 2020. "Global optimization benchmark function?". *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/post/Global_optimization_benchmark_function , last visited 24 Mar 2023
20. Balen J., Damjanovic D., Maric P., Vdovjak K. Optimized Edge, Fog and Cloud Computing Method for Mobile Ad-hoc Networks (2021) Proceedings - 2021 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2021, pp. 1303 - 1309, DOI: 10.1109/CSCI54926.2021.00266
21. Bekyarova-TokmakovaA., Mileva N., Tokmakov D. Classification of Business Processes in Telecommunications (2021) 29th National Conference with International Participation, TELECOM 2021 - Proceedings, pp. 153 - 156, DOI: 10.1109/TELECOM53156.2021.9659690
22. Bellur S., Sundar S.S. How Can We Tell When a Heuristic Has Been Used? Design and Analysis Strategies for Capturing the Operation of Heuristics (2014) Communication Methods and Measures, 8 (2), pp. 116 - 137, DOI: 10.1080/19312458.2014.903390
23. Bendoly E., Bachrach D.G., Powell B. The role of operational interdependence and supervisory experience on management assessments of resource planning systems (2008) Production and Operations Management, 17 (1), pp. 93 - 106, DOI: 10.3401/poms.1070.0001
24. Caffrey E., Mc Donagh J. Aligning strategy and information and communication technology in public organizations: A critical management challenge (2015)

- Information and Communication Technologies in Public Administration: Innovations from Developed Countries, pp. 141 - 164, DOI: 10.1201/b18321
25. Caffrey E., Mc Donagh J. Aligning strategy and information and communication technology in public organizations: A critical management challenge (2015) Information and Communication Technologies in Public Administration: Innovations from Developed Countries, pp. 141 - 164, DOI: 10.1201/b18321
 26. Chen D., Chirkova R., Kormilitsin M., Sadri F., Salo T.J. Query optimization in XML-based information integration (2008) International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings, pp. 1405 - 1406, DOI: 10.1145/1458082.1458303
 27. Chen Y., Li Y., Li C., Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application, Journal of Cleaner Production, 268, 122071, 2020
 28. Chtioui T., Dubuisson S.T. Towards a communication-based typology of management control modes: Showing the relevance of communicative action for entrepreneurial settings (2020) International Journal of Entrepreneurship and Small Business, 39 (1-2), pp. 163 - 191, DOI: 10.1504/ijesb.2020.104249
 29. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. (2022). Introduction to algorithms, MIT Press, ISBN9780262046305
 30. C. Krupitzer, T. Temizer, T. Prantl and C. Raibulet, "An Overview of Design Patterns for Self-Adaptive Systems in the Context of the Internet of Things," in IEEE Access, vol. 8, pp. 187384-187399, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031189.
 31. Danesh A., Kock N. An experimental study of process representation approaches and their impact on perceived modeling quality and redesign success, (2005) Business Process Management Journal, 11 (6), pp. 724 - 735, DOI: 10.1108/14637150510630882
 32. de Freitas S.A.A., Canedo E.D., Felisdório R.C.S., Leão H.A.T. Analysis of the risk management process on the development of the public sector information technology master plan (2018) Information (Switzerland), 9 (10), art. no. 248, DOI: 10.3390/INFO9100248
 33. de Heredero C., de Heredero M. Tools for the decision-making process in the management information system of the organization (2010) Handbook on Business Information Systems, pp. 765 - 789, DOI: 10.1142/9789812836069_0032
 34. Demirdöğen G., Işık Z., Arayıcı Y. Lean management framework for healthcare facilities integrating BIM, BEPS and big data analytics (2020) Sustainability (Switzerland), 12 (17), art. no. 7061, DOI: 10.3390/su12177061
 35. Diderich C. Laying the Groundwork for Strategy Implementation Through Stakeholder Focused Communication (2020) Management for Professionals, Part F573, pp. 201 - 214, DOI: 10.1007/978-3-030-25875-7_13
 36. Dejun Yang, Xi Fang, Guoliang Xue. Game theory in cooperative communications, IEEE Wireless Communications, Article2012, DOI: 10.1109/MWC.2012.6189412
 37. Ding, X., Shen, W., & Wang, S. (2024). Centralized or Decentralized? Communication Network and Collective Effectiveness of PBOs—A Task Urgency Perspective. Buildings, 14(2), 448. <https://doi.org/10.3390/buildings14020448>
 38. Dritsas, E., & Trigka, M. (2025). Federated Learning for IoT: A Survey of Techniques, Challenges, and Applications. Journal of Sensor and Actuator Networks, 14(1), 9. <https://doi.org/10.3390/jsan14010009>
 39. Dzhamaldinova M.D., Kurdyukova N.O., Kunanbayeva K.B. Integrated Management Systems for Digital Technology Enterprises (2021) Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security,

- Information Technologies", T and QM and IS 2021, pp. 27 - 30, DOI: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642769
40. El Hamzaoui M., Bensalah F. A theoretical model to illustrate the possible relations link the IS and the ICT to the organization digital information / Data (2019) ACM International Conference Proceeding Series, Part F148154, art. no. 30, DOI: 10.1145/3320326.3320362
 41. Eppler M.J. Information quality and information overload: The promises and perils of the information age (2015) Communication and Technology, pp. 215 – 232
 42. Escobar-Toledo C.E., Martínez-Berumen H.A. Strategic development of a decision making support system in a public R & D center (2013) Engineering Effective Decision Support Technologies: New Models and Applications, pp. 181 - 193, DOI: 10.4018/978-1-4666-4002-3.ch011
 43. Escobar-Toledo C.E., Martínez-Berumen H.A. Strategic Development of a Decision Making Support System in a Public R&D Center (2011) International Journal of Decision Support System Technology, 3 (2), pp. 32 - 43, DOI: 10.4018/jdsst.2011040103
 44. Farwick M., Agreiter B., Breu R., Häring M., Voges K., Hanschke I. Towards living landscape models: Automated integration of infrastructure cloud in Enterprise Architecture Management (2010) Proceedings - 2010 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing, CLOUD 2010, art. no. 5558014, pp. 35 - 42, DOI: 10.1109/CLOUD.2010.20
 45. Fašiang T., Gežik P. Using heuristic methods in the process of retail shops placement in the context of marketing communication effect maximization (2017) Communication Today, 8 (2), pp. 42 - 57
 46. Feng Y., Qi Y., Li H., Wang X., Tian J. Leveraging federated learning and edge computing for recommendation systems within cloud computing networks (2024) Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 13210, art. no. 1321012, DOI: 10.1117/12.3034773
 47. Fishchuk I., Evsyukova O., Smalskys V. The information and communication support of public authorities in ukraine in the context of using knowledge management in human resources [Informacijosirkomunikacijospalaikymas tarp Ukrainosvaldžiosinstitucijų, žmogiškųjųįstekliųsritųjenaudojantžiniųvaldymą] (2021) Public Policy and Administration, 20 (2), pp. 260 - 270, DOI: 10.13165/VPA-21-20-2-09
 48. Folch M.T., Tamayo P.S. Technologies of information and communication: A key element of communication among university faculty [Las tecnologías de información y comunicacióncomo un elemento clave de la comunicación entre elprofesoradouniversitario] (2008) Education Policy Analysis Archives, 16
 49. Fortier S.C., Volk J.H. Applying information modeling for protecting enterprise assets from threats (2006) 2006 IEEE International Conference on Computational Cybernetics, ICCCB, art. no. 4097682, DOI: 10.1109/ICCCYB.2006.305721
 50. Gillard S. Managing IT projects: Communication pitfalls and bridges (2005) Journal of Information Science, 31 (1), pp. 37 - 43, DOI: 10.1177/0165551505049257
 51. Glowalla P., Balazy P., Basten D., Sunyaev A. Process-driven data quality management - An application of the combined conceptual life cycle model (2014) Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, art. no. 6759178, pp. 4700 - 4709, DOI: 10.1109/HICSS.2014.575
 52. Gressgård L.J., Amundsen O., Aasen T.M., Hansen K. Use of information and communication technology to support employee-driven innovation in organizations:

- A knowledge management perspective (2014) *Journal of Knowledge Management*, 18 (4), pp. 633 - 650. DOI: 10.1108/JKM-01-2014-0013
53. Grice R.A., Bennett A.G., Fernheimer J.W., Geisler C., Krull R., Lutzky R.A., Rolph M.G.J., Search P., Zappen J.P. Heuristics for broader assessment of effectiveness and usability in technology- mediated technical communication (2013) *Technical Communication*, 60 (1), pp. 3 - 27
 54. Handzic M., Lagumdzija A., Celjo A. Managing knowledge with technology: Current trends in local government (2008) *International Journal of Knowledge Management*, 4 (4), pp. 77 - 89, DOI: 10.4018/jkm.2008100105
 55. Hinton M. The process of information management (2006) *Introducing Information Management: The Business Approach*, pp. 56 - 62, DOI: 10.4324/9780080458397-11
 56. Hollman A.K., Bickford S.H., Lear J.L. Communication processes of information technology executives in higher education (2018) *Journal of Organizational and End User Computing*, 30 (2), pp. 71 - 87, DOI: 10.4018/JOEUC.2018040104
 57. Honda T., Ciucci F., Lewis K.E., Yang M.C. Comparison of information passing strategies in system-level modeling (2015) *AIAA Journal*, 53 (5), pp. 1121 - 1133, DOI: 10.2514/1.J052568
 58. Huang X., Chen Y., Qiu D., Zhou X., Fang Y., Liu Y., Wu Z., Zhang Z., Rong Q., Wang T., Wu X., Liu M., Yang Y., Wang X., Li C., Wen J., Sun S., Liu W. Conversations in the Cloud: Crafting Harmony in AliCloud Computing Interaction Design (2024) *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 14712 LNCS, pp. 53 - 67, DOI: 10.1007/978-3-031-61351-7_4
 59. H. Washizaki, S. Ogata, A. Hazeyama, T. Okubo, E. B. Fernandez and N. Yoshioka, "Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 10, pp. 10091-10101, Oct. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3003528.
 60. Jarmooka Q., Fulford R.G., Morris R., Barratt-Pugh L. The mapping of information and communication technologies, and knowledge management processes, with company innovation (2021) *Journal of Knowledge Management*, 25 (2), pp. 313 - 335, DOI: 10.1108/JKM-01-2020-0061
 61. Kittelman S., Calvo-Amodio J., Barca R.H. A conceptual framework on the role of communication competency in new process implementations efforts (2016) 2016 *International Annual Conference of the American Society for Engineering Management*, ASEM 2016
 62. Kuzmina A.M., Abramov D.A. Media Communication Framework of Governability in the Digital Public Administration System (2023) *Proceedings of the 2023 Communication Strategies in Digital Society Seminar 2023, ComSDS 2023*, pp. 70 - 73, DOI: 10.1109/ComSDS58064.2023.10130416
 63. Lin N., Lin Q. Measurement application framework based on voice intelligent interaction (2024) *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 13180, art. no. 131806G, DOI: 10.1117/12.3033728
 64. Liu Z., Zhao Y., Song J., Qiu C., Chen X., Wang X. Learn to Coordinate for Computation Offloading and Resource Allocation in Edge Computing: A Rational-Based Distributed Approach (2022) *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 9 (5), pp. 3136 - 3151, DOI: 10.1109/TNSE.2021.3136942
 65. Ma J., Smith B.L., Zhou X. Personalized real-time traffic information provision: Agent-based optimization model and solution framework, (2016) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 64, pp. 164 – 182, DOI: 10.1016/j.trc.2015.03.004

66. Margaria T., Floud B. D., Srefen B, 2011
67. Majstorovic V., Rakic K. Internet of things and social media: Tools of a successful information organization (2017) Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, pp. 295 - 298, DOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.040
68. Marble J.L., Siu N., Coyne K. Risk communication within a risk-informed regulatory decision-making environment(2012) 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012, PSAM11 ESREL 2012, 3, pp. 2227 – 2236
69. Marchao J., Reis L., Martins P.V. Business Areas and Processes Alignment in ICT Framework [Framework de Alinhamento de Áreas e Processos de Negócio das TIC] (2020) Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 2020-June, art. no. 9141067, DOI: 10.23919/CISTI49556.2020.9141067
70. Martinez M.F.C., Liccioni E.J., Naranjo M.E.M., Velazco D.J.M. BUSINESS MANAGEMENT: COMMUNICATION AS A KEY COMPETENCE (2024) IkonomichekiIzsledvania, 2024 (3), pp. 166 – 180
71. Martyakova E.V., Nagornaya O.A., Bondarenko I.G. Current Trends in Using Information and Communication Technologies at Universities (2019) Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019, art. no. 8928372, pp. 535 - 538, DOI: 10.1109/ITQMIS.2019.8928372
72. McKay J., Grainger N., Marshall P., Hirschheim R. Artefaction as communication: Redesigning communication models (2010) ACIS 2010 Proceedings - 21st Australasian Conference on Information Systems
73. Mellah H., Hassas S., Drias H. A communication model of distributed information sources bacteria colonies inspired (2006) INES 2006: 10th International Conference on Intelligent Engineering Systems 2006, art. no. 1689362, pp. 165 - 169
74. Memon Q.A. Distributed networks: Intelligence, security, and applications (2017) Distributed Networks: Intelligence, Security, and Applications, pp. 1 - 394, DOI: 10.1201/b15282
75. Milakovich M.E. Digital governance and collaborative strategies for improving service quality (2014) KMIS 2014 - Proceedings of the International Conference on Knowledge Management and Information Sharing, pp. 109 - 118, DOI: 10.5220/0005021001090118
76. Mittal S., Kumar V. Study of knowledge management models and their relevance in organisations (2019) International Journal of Knowledge Management Studies, 10 (3), pp. 322 - 335. DOI: 10.1504/IJKMS.2019.101491
77. Müller L., Budde M., Weibel N., Spencer E.A., Beigl M., Norman D. Learning from failure: Designing for complex sociotechnical systems (2017) UbiComp/ISWC 2017 - Adjunct Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, pp. 988 - 991, DOI: 10.1145/3123024.3124460
78. M.Mohamed Surputheen, G. Ravi, R. Srinivasan, Optimizing Routes using Genetic Algorithms based on Throughput or Delay Sensitivity of Applications using SNMP for Automatic Discovery of Network Topology. International Journal of Computer Applications (0975 – 888) Volume 47– No.12, June 2012
79. Naumov V., Naumova E., Shteyngart E., Ostrovskaya N. Methodological principles of forming multichannel digital communication in the supply chains (2020) E3S Web of Conferences, 157, art. no. 05010, DOI: 10.1051/e3sconf/202015705010

80. Navarro M.A., Morales-Castaneda B., Ramos-Michel A., Oliva D., Valdivia A., Casas-Ordaz A., Rodriguez-Esparza E. An Hyper-Heuristic Based Population Management Through Statistical Analysis and Phases Optimization (2023) 2023 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2023, DOI: 10.1109/CEC53210.2023.10254032
81. Nilsson M., Ziemke T. Rethinking level 5: Distributed cognition and information fusion (2006) 2006 9th International Conference on Information Fusion, FUSION, art. no. 4086116, DOI: 10.1109/ICIF.2006.301559
82. Pobegaylov O.A., Myasishchev G.I., Gaybarian O.E. Organization and Management Efficiency Assessment in the Aspect of Linguistic Communication and Professional Text (2016) Procedia Engineering, 150, pp. 2173 - 2177, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.260
83. Polyanin A., Golovina T., Avdeeva I., Dokukina I., Vertakova Y. Digital strategy of telecommunications development: Concept and implementation phases (2017) Proceedings of the 30th International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2017 - Vision 2020: Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth, 2017-January, pp. 1792 – 1803
84. Ponciano L., Brasileiro F., Andrade N., Sampaio L. Considering human aspects on strategies for designing and managing distributed human computation (2014) Journal of Internet Services and Applications, 5 (1), art. no. 10, DOI: 10.1186/s13174-014-0010-4
85. Pondel J., Pondel M. Enterprise communication tools supporting knowledge management processes (2017) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 518, pp. 13 – 26
86. Pondel M., Pondel J. Selected it tools in enterprise knowledge management processes – overview and efficiency study (2019) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 571, pp. 12 - 28, DOI: 10.1007/978-3-030-29904-0_2
87. Prokofiev S.E., Kadyrova G.M., Artyukhin R.E., Yeregin S.G., Savelyev A.A. Present-day information technologies in public administration in Russia (2021) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 650 (1), art. no. 012016, Cited 3 times. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012016
88. Proskurina N.V., Davidyan Y.I., Zorina M.A., Verkolab A.A. Analysis of the IT Development Level of Russian Organizations: A Regional Aspect (2023) Lecture Notes in Civil Engineering, 378 LNCE, pp. 266 - 273, DOI: 10.1007/978-3-031-38122-5_37
89. Romanenko Y.O. Place and role of communication in public policy (2016) Actual Problems of Economics, 176 (2), pp. 25 – 26.
90. Rong G., Xu Y., Tong X., Fan H. An edge-cloud collaborative computing platform for building AIoT applications efficiently (2021) Journal of Cloud Computing, 10 (1), art. no. 36, DOI: 10.1186/s13677-021-00250-w
91. Sadeghi M., Carenini A., Corcho O., Rossi M., Santoro R., Vogelsang A. Interoperability of Heterogeneous Systems of Systems: Review of Challenges, Emerging Requirements and Options (2023) Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, pp. 741 - 750, DOI: 10.1145/3555776.3577692
92. Sanfelice R., Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach, In: Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice, D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic, 2016.]
93. Salutina T.Y., Platunina G.P., Frank I.A. Features of Risk Management of Digital and Infocommunication Development to Ensure a Unified Information Space of Companies in Modern Conditions (2023) 2023 Intelligent Technologies and

- Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2023 - Conference Proceedings, DOI: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332796
94. Shatska S.Y. Information aspects of process management introduction in organizations' activities (2013) Actual Problems of Economics, 150 (12), pp. 308 – 316
 95. Shaw D., Edwards J.S. Manufacturing knowledge management strategy (2006) International Journal of Production Research, 44 (10), pp. 1907 - 1925, DOI: 10.1080/00207540500431339
 96. Singh H., Tripathy R., Kaur N., Parmar M. Improved Whale Optimization Algorithm for Cluster Analysis (2025) Communications in Computer and Information Science, 2238 CCIS, pp. 156 - 166, DOI: 10.1007/978-3-031-75861-4_14
 97. Storozhenko L., Petkun S. Electronic communications as an element of management (2019) International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8 (11), pp. 459 - 466, DOI: 10.35940/ijitee.K1401.0981119
 98. Tan W., Yang F., Jiang C., Tang A., Zhao X., Peng Z. A model for process-driven cooperative enterprise process communication (2008) Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2008, art. no. 4608126, pp. 894 - 899, DOI: 10.1109/ICINFA.2008.4608126
 99. Tan X., Wang Y., Liu C., Yuan X., Wang K. Unlocking operational excellence: A deep dive into a communication-driven multi-strategy state transition algorithm for industrial process optimization (2023) Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 240, art. no. 104934, DOI: 10.1016/j.chemolab.2023.104934
 100. Taha, A.-E. M., Rashwan, A. M., & Hassanein, H. S. (2020). Secure Communications for Resource-Constrained IoT Devices. Sensors, 20(13), 3637. <https://doi.org/10.3390/s20133637>
 101. Tešić M. More Efficient Operations of the Company with the Help of Communication Technologies (2016) ECONOMICS - Innovative and Economics Research Journal, 4 (2), pp. 143 - 152, DOI: 10.1515/eoik-2017-0005
 102. Tsvetkova M., Yasserli T., Meyer E.T., Pickering J.B., Engen V., Walland P., Lüders M., Følstad A., Bravos G. Understanding human-machine networks: A cross-disciplinary survey (2018) ACM Computing Surveys, 50 (1), art. no. 12, DOI: 10.1145/3039868
 103. Uka A. The communication and its influence on the effectiveness of the organization (2014) Mediterranean Journal of Social Sciences, 5 (2), pp. 165 - 170, DOI: 10.5901/mjss.2014.v5n2p165
 104. Van De Bogart W. Information entanglement: Developments in cognitive based knowledge acquisition strategies based on big data (2015) Proceedings of the International Conference on Intellectual Capital, Knowledge Management and Organisational Learning, ICICKM, 2015-January, pp. 299 – 307
 105. Vasiliev D. The use of digital communications tools by latvian environmental NGOs (2021) Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources, 1, pp. 250 - 254, DOI: 10.17770/etr2021vol1.6515
 106. Wei, Y., Chen, J., & Hwang, S.-H. (2018). Adjacent Vehicle Number-Triggered Adaptive Transmission for V2V Communications. Sensors, 18(3), 755. <https://doi.org/10.3390/s18030755>
 107. William Marfo, Deepak K. Tosh, Shirley V. Moore, Joshua Suetterlein, Joseph Manzano. Reducing Communication Overhead in Federated Learning for Network Anomaly Detection with Adaptive Client Selection. arXiv:2503.15448v1 [cs.DC] 19 Mar 2025

108. W. Saad, Z. Han, M. Debbah, A. Hjørungnes and T. Basar, "Coalitional game theory for communication networks," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 5, pp. 77-97, September 2009, doi: 10.1109/MSP.2009.0000000
109. Wuersch, L., Neher, A., Maley, J. F., & Peter, M. K. (2024). Using a Digital Internal Communication Strategy for Digital Capability Development. *International Journal of Strategic Communication*, 18(3), 167–188.
<https://doi.org/10.1080/1553118X.2024.2330405>
110. Xu Z., Fan Z. Topological structure optimization algorithm of military communication network based on genetic algorithm (2021) *Proceedings - 2021 International Conference on Computer Engineering and Application, ICCEA 2021*, pp. 11 - 18, DOI: 10.1109/ICCEA53728.2021.00010
111. Yang P. Information Management in the Logistics and Distribution Sector Using Metaheuristic Techniques (2022) *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 15 (4), DOI: 10.4018/IJSSCM.305850
112. Zapata D.E.M., Rey J.E.V. Knowledge management in organizations: A necessary encounter of digital platforms, communications, education and culture [Gestión del conocimiento organizacional: Un encuentro necesario entre plataformas digitales, comunicación, educación y cultura] (2015) *Revista Lasallista de Investigación*, 12 (2), pp. 105 - 111, DOI: 10.22507/rli.v12n2a11
113. Zhang M. Research on network false information propagation control algorithm based on dynamic multi-objective optimization (2024) *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 13181, art. no. 1318109, DOI: 10.1117/12.3031195
114. Zhu Y., Gan Z., Huang Y. Information dissemination management based on hierarchical strategy control (2010) *Proceedings - 2010 International Conference on Communications and Intelligence Information Security, ICCIIS 2010*, art. no. 5629238, pp. 248 - 251, DOI: 10.1109/ICCIIS.2010.63
115. Z. Chen and B. Ji, "Resource allocation algorithm for IoT communication based on ambient backscatter," 2021 *IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448677
116. Zreikat, A. I., Al Arnaout, Z., Abadleh, A., Elbasi, E., & Mostafa, N. (2025). The Integration of the Internet of Things (IoT) Applications into 5G Networks: A Review and Analysis. *Computers*, 14(7), 250.
<https://doi.org/10.3390/computers14070250>
117. Galbraith J., *Organization Design*, 1977 Reading, Mass. : Addison-Wesley Pub. Co.
118. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms*, MIT Press, ISBN 9780262046305].
119. Heaton, J. (2014). *Artificial Intelligence for Humans, Volume 2: Nature-Inspired Algorithms*, ISBN 978-1499720570. Iba Hitoshi. (2020).
120. Approximated Sequences Reconstruction with Genetic Algorithms P. Petrov, G. Kostadinov, P. Zhivkov, V. Velichkova, T. Balabanov, *АВТОМАТИКА И ИНФОРМАТИКА* 3-4, 2021 г.
121. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/bg/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>.
122. Xujie Tan, Yalin Wang, Chenliang Liu *, Xiaofeng Yuan, Kai Wang, Unlocking operational excellence: A deep dive into a communication-driven multi-strategy state transition algorithm for industrial process optimization, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2023

123. Collaborative Skills Training Using Digital Tools: A Systematic Literature Review, Anthony Cherbonnier, Brivael Hémon, Nicolas Michinov, Eric Jamet & Estelle Michinov, 2024]
124. Digital literacy, the use of collaborative technologies, and perceived social proximity in a hybrid work environment: Technology as a social binder, Andree-Anne Deschênes, 2023
125. Digital networks: Elements of a theoretical framework, Kevin Lewis, 2021
126. Sanfelice R., Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach, In: Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice, D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic, 2016.
127. Chen Y., Li Y., Li C., Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application, Journal of Cleaner Production, 268, 122071, 2020.
128. Atanasova, T.: Methods for processing of Heterogeneous Data in IoT based Systems. DCCN 2019, CCIS 1141, Springer, 42, 2019.
129. Dineva, K., Atanasova, T., Methodology for Data Processing in Modular IoT System. DCCN 2019, In: V. M. Vishnevskiy et al. (Eds.): DCCN 2019, LNCS 11965, pp. 457–468. Springer, 2019.
130. Dineva K., Atanasova T. Architectural ML Framework for IoT Services Delivery Based on Microservices. In: Vishnevskiy V.M., et al (eds) DCCN 2020. LNCS, 12563. Springer, 2020
131. Mezghani E., Expósito E., Drira K.: A Model-Driven Methodology for the Design of Autonomic and Cognitive IoT-Based Systems: Application to Healthcare. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, IEEE, 1(3), 224–234 (2017)
132. Abu-Elkheir M., Hayajneh M., and Abu Ali N.: Data Management for the Internet of Things: Design Primitives and Solution, Sensors (Basel). Nov; 13(11), 1558215612 (2013)
133. Zikria Y.B., S. W. Kim, O. Hahm, M. Kh. Afzal and M. Y. Aalsalem, Internet of Things (IoT) Operating Systems Management: Opportunities, Challenges, and Solution, Sensors, 19, 1793 (2019)
134. Popchev I., Orozova D., Data Science: Experience and Trends, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Conference 2021, DOI: 10.1088/1757-899X/1031/1/012057
135. Stoyanov St., Orozova D., Popchev I., Internet of things water monitoring for a smart seaside city, 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2018, DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447084
136. Toskova A., Toskov B., Stoyanov St., Popchev I., Genetic algorithm for a learning humanoid robot, Comptes Rendus de L'Académie Bulgare des Sciences, 2019 DOI: 10.7546/CRABS.2019.08.13
137. Popchev I., Orozova D., Stoyanov St., IoT and Big Data Analytics in E-Learning, Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering, BdKCSE 2019 Conference, DOI: 10.1109/BdKCSE48644.2019.9010666